

The logo for CEUB (Centro de Estudos Universitários de Brasília) is displayed in a white, stylized font against a dark red background. The letters 'C', 'E', 'U', and 'B' are interconnected, with the 'U' and 'B' sharing a vertical stem.

EDUCAÇÃO SUPERIOR

ISSN 2236-1677

The cover features a photograph of the modern architecture of the University of Brasília. In the foreground, a large, white, abstract sculpture of a seated female figure is prominent. The background shows a tall, white, grid-like building under a blue sky with scattered clouds. A dark red banner with white text is overlaid on the top part of the image.

**REVISTA BRASILEIRA DE POLÍTICAS PÚBLICAS**  
**BRAZILIAN JOURNAL OF PUBLIC POLICY**

**El papel de las políticas públicas  
en la sostenibilidad de la aviación**  
The role of public policies in the  
sustainability of aviation

Oscar Díaz Olariaga

VOLUME 13 • Nº 2 • AGO • 2023

# Sumário

<b>I. POLÍTICAS PÚBLICAS, POBREZA E DESIGUALDADE .....</b>	<b>18</b>
<b>CHINA’S AID POLICY APPROACH TO POVERTY ALLEVIATION IN THE RECIPIENT COUNTRY: A CASE STUDY OF THE REPUBLIC OF GUINEA .....</b>	<b>20</b>
Ansoumane Douty Diakite	
<b>OS INDICADORES SOCIAIS NO CICLO DE POLÍTICAS PÚBLICAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DOS ÚLTIMOS CINCO ANOS .....</b>	<b>52</b>
Bruno Cazeiro Astolfi, Eduardo Matheus Figueira, José Antônio da Silveira Junior e Daniel Teotônio do Nascimento	
<b>DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL E A RENDA BÁSICA UNIVERSAL NO CONTEXTO DA (PÓS)PANDEMIA DA COVID-19 .....</b>	<b>74</b>
Amanda Karolini Burg, Nelson Nogueira Amorim Filho e Francisco Quintanilha Vêras Neto	
<b>A DIFERENCIAÇÃO FUNCIONAL DA SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA E AS ESTRUTURAS DE DESIGUALDADE SOCIAL: CRÍTICA ÀS PRÁTICAS DE EXCLUSÃO DAS ORGANIZAÇÕES DA JUSTIÇA CRIMINAL.....</b>	<b>92</b>
Maiquel Ângelo Dezordi Wermuth e José Francisco Dias da Costa Lyra	
<b>II. POLÍTICAS PÚBLICAS, INDÚSTRIA E FINANÇAS .....</b>	<b>113</b>
<b>ACCOUNTING INFORMATION SYSTEMS AND FINANCIAL CRISES: INSIGHTS INTO LOCAL GOVERNMENTS.....</b>	<b>115</b>
Mahmoud Hany M. Dalloul, Zuraeda binti Ibrahim e Sharina Tajul Urus	
<b>LA REGULACIÓN CONTABLE SOBRE LOS ACTIVOS DE INFRAESTRUCTURA EN LATINOAMÉRICA....</b>	<b>152</b>
Michael Andrés Díaz Jiménez e Mauricio Gómez Villegas	
<b>POLÍTICAS PÚBLICAS DE QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL E DIREITO AO TRABALHO NA INDÚSTRIA 4.0: UM MAPEAMENTO DAS INICIATIVAS BRASILEIRAS.....</b>	<b>172</b>
Olívia de Quintana Figueiredo Pasqualetto	
<b>POLÍTICAS PÚBLICAS BRASILEIRA DE EXPORTAÇÃO VOLTADAS À INDÚSTRIA MOVELEIRA: O AGLOMERADO DE ARAPONGAS .....</b>	<b>201</b>
Marcelo Vargas e Walter Tadahiro Shima	
<b>III. POLÍTICAS PÚBLICAS EM MEIO AMBIENTE .....</b>	<b>219</b>
<b>EL PAPEL DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS EN LA SOSTENIBILIDAD DE LA AVIACIÓN .....</b>	<b>221</b>
Oscar Díaz Olariaga	

<b>LEGAL STATUS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT PRINCIPLES AND CLIMATE CHANGE RESPONSIBILITIES UNDER THE PARIS AGREEMENT</b> .....	<b>245</b>
Lupwana Jean Jacques Kandala	
<b>CONTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS PROTEGIDAS BRASILEIRAS PARA O CUMPRIMENTO DA META 11 DO PLANO ESTRATÉGICO PARA A BIODIVERSIDADE 2011-2020</b> .....	<b>261</b>
Gabriela Barreto de Oliveira, Nicássia Feliciano Novôa e Geraldo Majela Moraes Salvio	
<b>A POLÍTICA PERMISSIVA BRASILEIRA AOS AGROTÓXICOS E SUAS REPERCUSSÕES PARA A SADI QUALIDADE DE VIDA: UMA ANÁLISE SOBRE O USO DE AGROVENENOS</b> .....	<b>299</b>
Andreza Aparecida Franco Câmara e Juliana Freitas Mendes	
<b>IV. POLÍTICAS PÚBLICAS EM SAÚDE</b> .....	<b>318</b>
<b>MAPEAMENTO DAS INICIATIVAS IMPLEMENTADAS EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS PARA ABORDAR A JUDICIALIZAÇÃO DA SAÚDE NO BRASIL: REVISÃO SISTEMÁTICA DE ESCOPO</b> .....	<b>320</b>
Sueli Miyuki Yamauti, Jorge Otavio Maia Barreto, Silvio Barberato Filho e Luciane Cruz Lopes	
<b>PROMOÇÃO DA SAÚDE E POLÍTICAS PÚBLICAS DE ESPORTE E LAZER: CONEXÕES E DIGRESSÕES</b> ..	<b>363</b>
Gildiney Penaves Alencar, Richard Nicolas Marques Caput, Elton Pereira de Melo, Vanderlei Porto Pinto e Junior Vagner Pereira da Silva	
<b>DESIGUALDADES EN EL ACCESO A LA SALUD EN RÍO NEGRO COMO “NORMALIDAD” PRE PANDÉMICA</b> .....	<b>387</b>
Soledad A Pérez e Mónica Serena Perner	
<b>V. POLÍTICAS PÚBLICAS EM EDUCAÇÃO</b> .....	<b>401</b>
<b>AS POLÍTICAS PÚBLICAS DE EDUCAÇÃO DO CAMPO NO BRASIL E A PRESENÇA DA PEDAGOGIA DA ALTERNÂNCIA À LUZ DAS MAISONS FAMILIALES RURALES</b> .....	<b>403</b>
Juliana Silva da Rocha Nickel e João Pedro Schmidt	
<b>INVESTIGACIÓN BASADA EN PROBLEMAS: UNA APROXIMACIÓN A PARTIR DEL CASO DE LA FORMACIÓN JUDICIAL INICIAL</b> .....	<b>426</b>
Alexander Restrepo Ramírez, Jean Carlo Mejía Azuero e Nesly Edilma Rey Cruz	
<b>VI. POLÍTICAS PÚBLICAS VOLTADAS À ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA</b> .....	<b>442</b>
<b>COMPLIANCE 2030: AS TRÊS DIMENSÕES DE UM NOVO PARADIGMA DO COMPLIANCE E O SEU DESENHO TEÓRICO, NORMATIVO E OPERACIONAL PARA O SETOR PÚBLICO</b> .....	<b>444</b>
Márcin Haeblerlin, Alexandre Pasqualini e Tarsila Rorato Crusiu	
<b>DESIGN DE SISTEMAS DE DIÁLOGOS E DE DISPUTAS: UMA FORMA DE PREVENÇÃO, GESTÃO E RESOLUÇÃO DE CONFLITOS PELA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA PARA O NOVO MUNDO</b> .....	<b>467</b>
Ísis Boll de Araujo Bastos e Maíra Lopes de Castro	

<b>O PLANEJAMENTO NA NOVA LEI DE LICITAÇÕES E A APLICABILIDADE DE SEUS INSTRUMENTOS EM PEQUENOS MUNICÍPIOS .....</b>	<b>486</b>
Paulo Afonso Cavichioli Carmona e Marcos André Alamy	
<b>VII. POLÍTICAS PÚBLICAS, JUSTIÇA E FORMAS ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO DE CONTROVÉRSIAS.....</b>	<b>500</b>
<b>ADVOCACY: ORGANIZAR E IRRITAR- ESTUDO DE CASO DA ORGANIZAÇÃO CONECTAS .....</b>	<b>502</b>
Caio Augusto Guimarães de Oliveira, Fernanda Busanello Ferreira e Ulisses Pereira Terto Neto	
<b>RESOLVING DISPUTES WITH HEALING EFFECT: THE PRACTICE OF MEDIATION IN INDIA .....</b>	<b>532</b>
Anirban Chakraborty e Shuvro Prosun Sarker	
<b>HÁ ACCOUNTABILITY NAS POLÍTICAS DE INCENTIVO À CONCILIAÇÃO PROMOVIDAS PELO CNJ? A PERSPECTIVA DA JUSTIÇA DO TRABALHO .....</b>	<b>552</b>
Mariana Cesto e Lourival Barão Marques Filho	
<b>VIII. POLÍTICAS PÚBLICAS EM MATÉRIA PENAL .....</b>	<b>573</b>
<b>O ENFRENTAMENTO DO TRÁFICO INTERNACIONAL DE PESSOAS NO BRASIL: ENTRE A CRIMINALIZAÇÃO E O ENFOQUE EM DIREITOS HUMANOS .....</b>	<b>575</b>
Verônica Maria Teresi e Gilberto Marcos Antonio Rodrigues	
<b>DROGAS E VIOLÊNCIA: DA CRIMINALIZAÇÃO DE COMPORTAMENTOS SEM VÍTIMAS ÀS VÍTIMAS DO PROCESSO DE CRIMINALIZAÇÃO .....</b>	<b>596</b>
Airto Chaves Junior e Thiago Aguiar de Pádua	
<b>ESTUPRO, CONJUGALIDADE E SUBALTERNIDADE DA MULHER NO BRASIL: UMA RELAÇÃO DE (TRÊS) PODER(ES) .....</b>	<b>620</b>
Jackeline Caixeta Santana e Rosa Maria Zaia Borges	
<b>ESTATUTO DO DESARMAMENTO TORNA-SE DE ARMAMENTO: ARMA DE FOGO NÃO GARANTE SEGURANÇA, A VIOLÊNCIA ESTÁ NO INDIVÍDUO.....</b>	<b>653</b>
Joice Cristina de Paula, Patrícia Peres de Oliveira, Selma Maria Fonseca Viegas e Edilene Aparecida Araújo da Silveira	
<b>IX. TEMAS DE DIREITO CONSTITUCIONAL E ELEITORAL .....</b>	<b>666</b>
<b>O CONSTITUCIONALISMO FORTE DA AMÉRICA LATINA.....</b>	<b>668</b>
Anizio Pires Gavião Filho e Lucas Moreschi Paulo	
<b>O MODELO DE FINANCIAMENTO POLÍTICO BRASILEIRO: IMPACTOS SOBRE A DEMOCRACIA INTRAPARTIDÁRIA .....</b>	<b>689</b>
Matheus Vequi e Clovis Demarchi	



# El papel de las políticas públicas en la sostenibilidad de la aviación\*

## The role of public policies in the sustainability of aviation

Oscar Díaz Olariaga\*\*

### Resumen

La creciente demanda de viajes aéreos intensifica el impacto de la aviación en el clima. Los informes indican que el sector de la aviación es responsable de más del 2% de todas las emisiones antropogénicas mundiales de CO<sub>2</sub>. Para minimizar el impacto negativo de la aviación en el medio ambiente, existe un intenso debate sobre políticas públicas ambientales que deberían formularse y aplicarse a la aviación. Según académicos y expertos del sector, la formulación de políticas parece ser un mecanismo de importancia relevante para conseguir, a medio-largo plazo, una aviación sostenible. En esta línea, en 2016, la Organización de Aviación Civil Internacional decidió implementar un esquema de reducción y compensación de carbono para la aviación civil internacional (CORSIA), y desde 2012, las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vuelos comerciales dentro de la Unión Europea se han incluido en su sistema de comercio de derechos de emisión (EU-ETS). Pero como se verá en el análisis que aquí se presenta, estos mecanismos no son lo suficientemente eficaces para mitigar y reducir la emisión de gases de efecto invernadero de la aviación; son necesarias más políticas, preferentemente globales, y sobre todo más eficaces. Por todo ello, este trabajo de revisión se enfoca en la identificación, análisis y valoración de propuestas de políticas de mitigación de las emisiones de la aviación. De las propuestas de políticas identificadas se analiza su potencial (de aplicabilidad) y eficacia para reducir las emisiones generadas por el transporte aéreo, también se valora su aceptabilidad social. Las conclusiones del trabajo destacan que las políticas a desarrollar deberían: complementar las políticas ambientales en curso (CORSIA y EU-ETS), abarcar todas las emisiones (incluidas las no-CO<sub>2</sub>), impulsar el uso de combustibles no fósiles, y promover e impulsar el desarrollo tecnológico (en propulsión y nuevos combustibles no fósiles).

**Palabras clave:** política ambiental; emisiones del transporte aéreo; aviación sostenible; política climática.

\* Autor convidado

\*\* Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás. Doctor Ingeniero Aeronáutico (Universidad Politécnica de Madrid, España). Doctor en Economía y Administración (UNED, España). Profesor Titular, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás (Bogotá, Colombia)  
Email: diaz\_olariaga@yahoo.es

### Abstract

The growing demand for air travel intensifies the impact of aviation on the climate. Reports indicate that the aviation sector is responsible for more than 2% of all global anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions. To minimize the negative impact of aviation on the environment, there is an intense debate on

environmental public policies that should be formulated and applied to aviation. According to academics and industry experts, policy formulation seems to be a relevant mechanism to achieve sustainable aviation in the medium-long term. Along these lines, in 2016, International Civil Aviation Organization decided to implement a carbon reduction and offset scheme for international civil aviation (CORSIA), and since 2012, CO<sub>2</sub> emissions from commercial flights within the European Union have been included in its emissions trading system (EU-ETS). But as will be seen in the analysis presented here, these mechanisms are not effective enough to mitigate and reduce the emission of greenhouse gases from aviation; more policies are needed, preferably global, and above all more effective. For all these reasons, this review work focuses on the identification, analysis and assessment of policy proposals for the mitigation of aviation emissions. Of the identified policy proposals, their potential (of applicability) and effectiveness to reduce the emissions generated by air transport are analyzed, as well as their social acceptability. The conclusions of the work highlight that the policies to be developed should: complement current environmental policies (CORSIA and EU-ETS), cover all emissions (including non-CO<sub>2</sub>), encourage the use of non-fossil fuels, and promote and encourage technological development (in propulsion and new non-fossil fuels).

**Keywords:** environmental policy; air transport emissions; sustainable aviation; climate policy.

## 1 Introducción

Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero procedentes de la aviación o transporte aéreo (en adelante se usarán estos dos términos de forma indiferente) han crecido continuamente en las últimas décadas, casi un 700% entre 1960 y 2018<sup>1</sup>, donde, para el 2011, la aviación era responsable de aproximadamente un 3,5% del forzamiento climático antropogénico efectivo neto de origen humano. La dinámica en el crecimiento de esta industria hará más dificultoso limitar el calentamiento global, ya que se espera que todos los sectores industriales contribuyan a los objetivos de mitigación y de bajas emisiones de carbono<sup>2</sup>. Consciente de esta problemática, la industria de la aviación / transporte aéreo está contribuyendo, a nivel de política, a la mitigación de su impacto en el cambio climático. Por un lado, está en curso, y a nivel mundial, el Esquema de Reducción y Compensación de Carbono para la Aviación Internacional (más conocido por su acrónimo en inglés, CORSIA), diseñado, implementado, gestionado y promovido por la Organización de Aviación Civil Internacional<sup>3 4 5</sup>. Y, por otro lado, está en marcha el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea para la aviación (EU-ETS, su acrónimo en inglés), aplicable solo al ámbito de la Unión Europea (UE)<sup>6 7</sup>.

Ahora bien, aunque el CORSIA tiene aplicabilidad mundial, para muchos académicos y expertos esta política (o esquema) presenta muchas deficiencias (las cuales serán mencionadas y analizadas en el presente trabajo), y consideran que es poco probable que haga contribuciones significativas a la reducción de emisio-

<sup>1</sup> LEE, David; FAHEY, David; SKOWRON, Agnieszka. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, v. 244, 117834, 2021. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117834.

<sup>2</sup> IPCC. *Special report on global warming of 1.5°C*. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acceso en: 24 jul. 2023.

<sup>3</sup> ICAO. *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>. Acceso en: 24 jul. 2023.

<sup>4</sup> BECKEN, Susanne; MACKAY, Brendan. What role for offsetting aviation greenhouse gas emissions in a deep-cut carbon world? *Journal of Air Transport Management*, v. 63, p. 71–83, 2017. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2017.05.009.

<sup>5</sup> SCHEELHAASE, Janina; MAERTENS, Sven; GRIMME, Wolfgang; JUNG, Martin. EU ETS versus CORSIA – A critical assessment of two approaches to limit air transport's CO<sub>2</sub> emissions by market-based measures. *Journal of Air Transport Management*, v. 67, p. 55–62. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2017.11.007.

<sup>6</sup> COMISIÓN EUROPEA. *Asignación de derechos a la aviación*. Disponible en: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation-sector\\_es](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation-sector_es). Acceso en: 24 jul. 2023.

<sup>7</sup> EFTHYMIOU, Marina; PAPTHERODOROU, Andreas. EU Emissions Trading scheme in aviation: Policy analysis and suggestions. *Journal of Cleaner Production*, v. 237, 117734. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117734.

nes por parte del transporte aéreo internacional. Por otro lado, los académicos consideran que la política de la Unión Europea, EU-ETS, es mucho mejor, desde el punto de vista de su efectividad en la reducción de las emisiones, lo que vendría a constituir la única iniciativa política alternativa significativa, pero su aplicabilidad se limita al espacio de la Unión Europea.

Esta situación está motivando, tanto a la académica como otros sectores relacionados con el transporte aéreo internacional (gubernamentales, no-gubernamentales, industriales, etc.), a idear y proponer políticas ambientales para la aviación con el objetivo de reducir/mitigar la generación de gases de efecto invernadero por parte de la industria<sup>8 9 10</sup>. Pero los generadores o proponentes de nuevas propuestas de política ambiental son conscientes de que la formulación, y sobre la aprobación y puesta en marcha de dichas políticas, es/ será complejo por motivos políticos, legales, económicos, y hasta sociales, encontrando por ello muchas barreras<sup>11 12 13</sup>.

En este contexto, la presente investigación, de revisión temática y con un planteamiento 100% en política pública, además del previo análisis y valoración de las políticas ambientales para la aviación en curso, como son la global (CORSA), la regional en la Unión Europea (EU-ETS), y las iniciativas de políticas que se vienen planteando en América Latina & Caribe, pretende identificar, presentar, analizar y evaluar nuevas propuestas de políticas bajo diferentes criterios o dimensiones, tales como efectividad real en la descarbonización de la industria de la aviación, el comportamiento (futuro) de la demanda de viajes aéreos, el cambio tecnológico, la voluntad política, la aceptación por parte de la sociedad y de los consumidores (pasajeros aéreos), etc. Para conseguir tal objetivo, se realiza una extensa y pormenorizada revisión de la literatura (científica y gris) como planteamiento metodológico adoptado. Cabe mencionar que el análisis de políticas de aviación sostenible aquí presentado, para el caso concreto de la región de América Latina & Caribe, de carácter exclusivamente académico, cubre el vacío existente en la literatura científica relacionada.

## 2 Metodología

Esta investigación tiene un fuerte enfoque de revisión, por ello ha sido necesario una extensa y detallada búsqueda y análisis de: literatura científica, la denominada literatura gris, y finalmente, aunque no menos importante, documentación (informes técnicos, directrices, normas, resoluciones, recomendaciones, etc.) de organizaciones internacionales (gubernamentales y no gubernamentales) relacionadas con el transporte aéreo internacional.

El objetivo de este trabajo de revisión es identificar, en primer lugar, las políticas ambientales para la aviación actualmente en curso (de aplicabilidad mundial y/o regional), y su correspondiente análisis y valoración. Y, en segundo lugar, identificar propuestas de políticas ambientales exclusivas para el transporte aéreo internacional, y valorar su posible o potencial aplicabilidad, su eficacia, y su aceptabilidad (política/gubernamental y social (de los consumidores/viajeros)).

<sup>8</sup> LARSSON, Jorgen; ELOFSSON, Anna; STERNER, Thomas; AKERMAN, Jonas. International and national climate policies for aviation: a review. *Climate Policy*, 19, 6, 787-799, 2019. DOI: 10.1080/14693062.2018.1562871.

<sup>9</sup> LARSSON, Jorgen; KAMB, Anneli; NASSEN, Jonas; AKERMAN, Jonas. Measuring greenhouse gas emissions from international air travel of a country's residents methodological development and application for Sweden. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 72, p. 137-144, 2018. DOI: 10.1016/j.eiar.2018.05.013.

<sup>10</sup> LARSSON, Jorgen; MATTI, Simon; NASSEN, Jonas. Public support for aviation policy measures in Sweden. *Climate Policy*, v. 20, n. 10, p. 1305-1321, 2020. DOI: 10.1080/14693062.2020.1759499.

<sup>11</sup> GÖSSLING, Stefan; HUMPE, Andreas. The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, v. 65, 102194, 2020. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102194.

<sup>12</sup> LYLE, Chris. Beyond the ICAO's CORSIA: Towards a more climatically effective strategy for mitigation of civil-aviation emissions. *Climate Law*, v. 8, n. 1-2, p. 104-127, 2018. DOI: 10.1163/18786561-00801004.

<sup>13</sup> SCHÄFER, Andreas; BARRET, Steven; DOYME, Khan. Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*, v. 4, p. 160-166, 2018. DOI: 10.1038/s41560-018-0294-x.

El planteamiento de análisis aquí adoptado consiste en segmentar las propuestas de políticas ambientales identificadas en tres grandes grupos: voluntarias, basadas en el mercado y regulatorias (este tipo de segmentación es el habitual en los estudios e investigaciones relacionadas al tratamiento y mitigación / reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero<sup>14</sup>). Esta segmentación de las políticas ambientales propuestas contribuye a valorar la importancia relativa de las mismas, especialmente en su aplicabilidad y su potencial eficacia. En otro orden, el análisis evalúa criterios tales como: impacto en el comportamiento de la demanda de viajes aéreos, el desarrollo tecnológico (principalmente en los sistemas de propulsión de las aeronaves y en el uso de nuevos tipos de combustibles no fósiles), el comportamiento y/o respuesta social (a las dichas políticas), y su impacto y contribución en reducir las emisiones que genera de la industria de la aviación.

Mencionar que las propuestas de políticas ambientales para la aviación aquí identificadas y analizadas son aquellas que se consideran genéricas y cuya aplicación sería directa (y exclusiva) al transporte aéreo; no se han incluido aquellas demasiado específicas y/o restringidas (ya sea a nivel geográfico y/o a nivel transitorio), o que impliquen / incluyan otros modos de transporte, como tampoco aquellas que en la práctica son más medidas operativas, incluso en ejecución (ya sean obligatorias, recomendadas o voluntarias), que políticas públicas. Seguramente las propuestas de políticas aquí presentadas no son todas las que existen, ya que tanto la investigación científica, como el tratamiento y gestión del problema del binomio aviación-cambio climático por parte de organizaciones gubernamentales y no-gubernamentales, son vertiginosas (debido a la envergadura de la problemática, y de la urgencia de propuestas de soluciones), por lo que la generación de propuestas de políticas públicas relacionadas es muy dinámica en el tiempo.

Finalmente, y en cuanto al desarrollo de la metodología, previo al análisis de las (nuevas) propuestas de políticas ambientales para la aviación, se desarrolla, en primer lugar, un oportuno análisis del binomio aviación – cambio climático, con un enfoque de contexto (a la presente investigación), y, en segundo lugar, se presenta, analiza y valora las dos grandes políticas ambientales internacionales para la aviación en curso, CORSIA y EU-ETS, como así también las iniciativas y propuestas de políticas de aviación sostenible que se vienen planteando desde unos pocos años en la región de Latinoamérica & Caribe.

### 3 Aviación y cambio climático

La industria de la aviación juega un papel vital en el fomento del comercio internacional y el transporte de personas y mercancías a varios destinos geográficos. A pesar de todos estos efectos positivos, el principal inconveniente de la industria es la importante contribución que hacen los vuelos a las emisiones de gases de efecto invernadero<sup>15</sup>. Los informes indican que el sector de la aviación es responsable de más del 2% de todas las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> en todo el mundo<sup>16 17</sup>. Esto es aproximadamente mil millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se emiten a la atmósfera anualmente<sup>18</sup>. La industria de la aviación es una de las de más rápido crecimiento en términos de emisiones de gases de efecto invernadero<sup>19</sup>. Por otro lado, se estima que la demanda anual de viajes aéreos de pasajeros en 2050 podría superar los 10.000 millo-

<sup>14</sup> WALLS, Judith; WITTMER, Andreas. *Sustainable Aviation*. Cham (Switzerland): Springer, 2022.

<sup>15</sup> EKICI, Filiz; ORHAN, Gamze; GUMUS, Oner; BAHCE, Abdullah. A policy on the externality problem and solution suggestions in air transportation: The environment and sustainability. *Energy*, v. 258, 124827, 2022. DOI: 10.1016/j.energy.2022.124827

<sup>16</sup> KLOWER, Milan; ALLEN, Myles; LEE, David; PROUD, Simon; GALLAGHER, Leo; SKOWRON, Agnieszka. Quantifying aviation's contribution to global warming. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 10, 104027, 2021. DOI: 10.1088/1748-9326/ac286e

<sup>17</sup> PLANES, Thomas; DELBECQ, Scott; POMMIER-BUDINGER, Valerie; BENARD, Emmanuel. Simulation and evaluation of sustainable climate trajectories for aviation. *Journal of Environmental Management*, v. 295, 113079, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113079

<sup>18</sup> LEE, David; FAHEY, David; SKOWRON, Agnieszka. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, v. 244, 117834, 2021. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117834

<sup>19</sup> IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: 10.1017/9781009157926.004



nes<sup>20</sup>, lo que provocaría un aumento probable de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> de la aviación internacional de alrededor de 1.800 millones de toneladas para 2050<sup>21</sup>. Cabe mencionar que la industria de la aviación también contribuye al calentamiento global a través de emisiones de gases distintos del CO<sub>2</sub><sup>22</sup>.

Estimar el impacto de las emisiones distintas del CO<sub>2</sub> de la aviación en el medio ambiente ha sido bastante difícil. Las principales emisiones distintas del CO<sub>2</sub> incluyen óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), vapor de agua y hollín; los aerosoles de aviación, partículas diminutas hechas de compuestos de hollín, azufre y nitrógeno, también contribuyen a esto<sup>23</sup>. Los contribuyentes más significativos al calentamiento global, además del CO<sub>2</sub>, son las estelas de condensación y los cambios en la composición química de la atmósfera causados por los NO<sub>x</sub>. Se estima que la contribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación al calentamiento global es aproximadamente el 1,59 % de la contribución total de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> provocadas por el hombre<sup>24</sup>. Además, combinando los efectos de las emisiones de CO<sub>2</sub> y distintas del CO<sub>2</sub> de la aviación, representan alrededor del 5% del efecto total del calentamiento global causado por los humanos<sup>25</sup>. En el apartado de transporte, cerca del 12% de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> proceden del sector de la aviación. La industria de la aviación es considerada como uno de los contribuyentes de emisiones de gases de efecto invernadero de más rápido crecimiento como resultado de la creciente demanda de viajes aéreos (solo interrumpida en el reciente periodo pandémico), y es difícil ignorar el impacto de estas emisiones en el cambio climático<sup>26</sup>. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de reducir o eliminar las emisiones de la industria de la aviación, ya que la industria continuará creciendo, tal como lo afirman los estudios de proyección demanda de transporte aéreo a nivel mundial<sup>27 28</sup>.

Sin embargo, merece mencionar que la industria de la aviación ha estado, y está, a la vanguardia de los esfuerzos hacia el desarrollo sostenible, trabajando hacia la estrategia de crecimiento neutro en carbono de la aviación<sup>29</sup>, uno de cuyos objetivos más ambiciosos es conseguir cero emisiones netas de carbono en el transporte aéreo para 2050 y reducir las emisiones de dióxido de carbono tanto como sea posible en base a soluciones industriales como la aviación sostenible, nuevos combustibles, nueva tecnología en propulsión, operaciones e infraestructura más eficientes, y el desarrollo de nuevas fuentes de energía de cero emisiones<sup>30</sup>. Por lo tanto, para lograr un crecimiento neutro en carbono de la aviación y garantizar emisiones netas de carbono cero para 2050 y, al mismo tiempo, no frenar su desarrollo, la identificación sistemática de los factores impulsores detrás de las emisiones de carbono es fundamental en la industria de la aviación. También es vital seleccionar algunos factores clave para mejorar en ciertas etapas de desarrollo y lograr un camino de evolución de tecnología baja en carbono.

<sup>20</sup> HU, Yu-Jie; YANG, Lishan; CUI, Hefu; WANG, Honglei; LI, Chengjiang; TANG, Bao-Jun. Strategies to Mitigate Carbon Emissions for Sustainable Aviation: A Critical Review From a Life-cycle Perspective. *Sustainable Production and Consumption*, v. 33, p. 788–808, 2022. DOI: 10.1016/j.spc.2022.08.009

<sup>21</sup> ICAO. *The ICAO Environmental Report 2019*. Montreal: ICAO, 2019. Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2019.aspx>. Acceso en: 24 jul. 2023.

<sup>22</sup> PULIAFITO, Enrique. Civil aviation emissions in Argentina. *Science of the Total Environment*, v. 869, 161675, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.161675

<sup>23</sup> DALEY, Ben. *Air Transport and the Environment*. Surrey: Ashgate Publishing Limited, 2010.

<sup>24</sup> LEE, David; FAHEY, David; SKOWRON, Agnieszka. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, v. 244, 117834, 2021. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117834

<sup>25</sup> OKOLIE, Jude; AWOTOYE, Damilola; TABAT, Meshach; OKOYE, Patrick. Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways. *iScience*, v. 26, 106944, 2023. DOI: 10.1016/j.isci.2023.106944

<sup>26</sup> SHER, Farooq; RAORE, David; KLEMES, Jifi. Unprecedented impacts of aviation emissions on global environmental and climate change scenario. *Current Pollution Reports*, v. 7, p. 549–564, 2021. DOI: 10.1007/s40726-021-00206-3

<sup>27</sup> ACI. *The ACI World Airport Traffic Forecasts 2022-2041*. Montreal: ACI, 2022.

<sup>28</sup> ICAO. *Post-COVID-19 Forecasts Scenarios*. Disponible en: <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Post-Covid-Forecasts-Scenarios.aspx>. Acceso en: 24 jul. 2023.

<sup>29</sup> RUPCIC, Lea; PIERRAT, Eleonore; SAAVEDRA, Karen; THONEMANN, Nils; OGUGUA, Chizoba; LAURENT, Alexis. Environmental impacts in the civil aviation sector: Current state and guidance. *Transportation Research Part D*, v. 119, 103717, 2023. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103717

<sup>30</sup> IATA. *Policy SAF Deployment*. Disponible en: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-policy-2023.pdf>. Acceso en: 25 jul. 2023.

Entonces, y en esta línea de objetivos a conseguir por parte de la industria de la aviación, las políticas públicas deben jugar un papel importante. Ahora bien, el diseño y la aplicación de políticas para una aviación sostenible se enfrenta a distintos desafíos (e incluso barreras), a saber<sup>31 32 33 34</sup>:

a) La aviación es una industria internacional, en la que están incluidos distintos países con capacidades e intereses diferentes. Esta variedad de opiniones dificulta la aplicación de enfoques regulatorios a escala internacional. Los países más influyentes pueden ralentizar o incluso detener la aplicación de las normas. Además, todas las naciones deben tener un acceso justo al mercado internacional. Esto requiere mucha coordinación.

b) En el debate participan distintos países y muchas partes interesadas con opiniones diversas. Pero todas las partes interesadas tienen que ponerse de acuerdo sobre una interpretación común de la sostenibilidad, lo que dificulta la decisión sobre los objetivos. Es posible que las decisiones se vean influidas por quienes desean objetivos menos estrictos.

c) Existen diferentes políticas a distintos niveles. Las nuevas medidas políticas deben tener en cuenta todas las políticas existentes a nivel nacional e internacional.

d) La asignación de las emisiones de CO<sub>2</sub> es complicada. Debido al sistema de códigos compartidos de las compañías aéreas o a la dependencia de las emisiones de CO<sub>2</sub> de muchos factores diferentes, no es fácil asignar las emisiones de CO<sub>2</sub> de vuelos internacionales a países específicos.

e) Siempre habrá resistencia. Debido a los fallos de intervención de los gobiernos, y a acciones interesadas de fuertes grupos empresariales / industriales, imponer precios para cambiar los comportamientos y aplicar subvenciones a las nuevas tecnologías, más respetuosas con el medio ambiente, pueden no funcionar. Habrá que contar con la resistencia política, empresarial y hasta pública a cualquier medida, sobre todo cuando se paga por algo que antes era gratis.

f) Ejecución o aplicación de demasiadas medidas. Demasiadas medidas generarían costes innecesarios e ineficacia, lo que podría acabar con la pérdida crónica de la industria de la aviación. Sin embargo, hay que aceptar compromisos para alcanzar los objetivos críticos. Por ello, es crucial supervisar las medidas políticas utilizando, por ejemplo, métodos de información adecuados.

En definitiva, se hace necesario la formulación de un marco político que incorpore consideraciones para la elaboración de medidas para la actuación política en materia de aviación sostenible con el objetivo de disminuir la generación y emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo así, a impactar cada vez menos al cambio climático.

## 4 Políticas ambientales de aviación en curso

### 4.1 Política global de la Organización de Aviación Civil Internacional

La gobernanza de la mitigación de las emisiones de la aviación está sujeta de manera singular a distintos instrumentos jurídicos internacionales. Tras la adopción del Protocolo de Kioto de la UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) en 1997 (aunque hoy en día el vigente es el Acuerdo de París de

<sup>31</sup> WALLS, Judith; WITTMER, Andreas. *Sustainable Aviation*. Cham (Switzerland): Springer, 2022.

<sup>32</sup> WALKER, Thomas; BERGANTINO, Angela; SPRUNG-MUCH, Northrop; LOIACONO, Luisa. *Sustainable Aviation*. Cham (Switzerland): Palgrave Macmillan, 2020.

<sup>33</sup> GOSSLING, Stefan; UPHAM, Paul. *Climate Change and Aviation*. London: Earthscan Publications, 2009.

<sup>34</sup> UPHAM, Paul; MAUGHAN, Janet; RAPER, David; THOMAS, Callum. *Towards Sustainable Aviation*. London: Earthscan Publications, 2003.

2015), las emisiones de los combustibles del transporte aéreo (los utilizados en operaciones internacionales) siguen siendo tratadas por los Estados a través de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). En esta línea, en 2010, el período de sesiones número 37 de la Asamblea de la OACI adoptó la resolución A37-19 relacionada con la aviación internacional y el cambio climático, que incluye las siguientes disposiciones<sup>35</sup>: aprobación de una meta global de mejora anual promedio de la eficiencia del combustible del 2 % hasta 2020 y de una meta global a la que se aspira de una mejora anual de la eficiencia del combustible del 2 % de 2021 a 2050; un objetivo global a mediano plazo de crecimiento neutro en carbono a partir de 2020; una decisión de explorar la viabilidad de una meta a la que se aspira a nivel mundial a largo plazo; desarrollo de un marco (o esquema) para medidas basadas en el mercado; desarrollo de un estándar global de CO<sub>2</sub> para aeronaves; y, finalmente, apoyo para el desarrollo, despliegue y uso de combustibles de aviación sostenibles. Posteriormente, en 2016, la OACI tomó la decisión de implementar el denominado Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (mejor conocido como CORSIA, su acrónimo en inglés) con el objetivo de lograr un crecimiento neutral en carbono a partir de 2020<sup>36</sup>. Ahora bien, el CORSIA no impone ninguna reducción, sino más bien la compensación de carbono de las emisiones por encima de los niveles de 2020, con excepción para las rutas hacia y desde los países en vías de desarrollo. El acuerdo de este esquema estipula que las compañías aéreas están obligadas a compensar su aumento de emisiones después de 2020 mediante la compra de créditos de proyectos de reducción de emisiones fuera del sector de la aviación. Al mismo tiempo, la OACI determinó que el CORSIA fuera la única medida (a nivel mundial), basada en el mercado, que se aplicara a las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la aviación internacional, desalentando así una mayor ambición por parte de los países individuales.

Varios estudios e investigaciones identifican que el CORSIA presenta muchas deficiencias, a saber<sup>37 38 39</sup> <sup>40 41 42</sup>: (a) centrarse solo en las emisiones de CO<sub>2</sub>, ignorando, por ejemplo, el metano, el NO<sub>x</sub> y las estelas de condensación, que provocan un importante forzamiento climático adicional; (b) se espera que el mecanismo de compensación de CORSIA, relacionado solo con el crecimiento después de 2020, cubra solo el 25 % de las emisiones de la aviación internacional durante el período 2021-2035; (c) carácter voluntario tanto en la prueba piloto (2021-2023) como en la primera fase de implementación del esquema (2024-2026); solo para 2027 participaría la mayoría de las aerolíneas; (d) bajo el mecanismo o fórmula diseñada el CORSIA requerirá una compensación a escalas sin precedentes, es decir, entre 142 y 174 Mt de CO<sub>2</sub> para 2025 y entre 443 y 596 Mt de CO<sub>2</sub> para 2035; (e) en lo que se refiere a los mecanismos de compensación, es probable que la compensación se centre en proyectos de bajo costo, lo que podría implicar un riesgo considerable de ‘fuga de carbono’; y (f) bajo el mecanismo actual, la compensación es más rentable que el desarrollo tecnológico (aeronáutico) y la introducción de nuevos combustibles alternativos, lo que significa que CORSIA no estimulará nuevas tecnologías de propulsión de aeronaves.

<sup>35</sup> MACARIO, Rosario; van de VOORDE, Eddy. *The Air Transportation Industry*. Amsterdam: Elsevier, 2021.

<sup>36</sup> ICAO. *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>. Acceso en: 24 jul. 2023.

<sup>37</sup> LYLE, Chris. Beyond the ICAO’s CORSIA: Towards a more climatically effective strategy for mitigation of civil-aviation emissions. *Climate Law*, v. 8, n. 1-2, p. 104-127, 2018. DOI: 10.1163/18786561-00801004.

<sup>38</sup> CORREA, Juliano; van der HOFF, Richard; RAJAO, Raoni. Amazon fund 10 years later: Lessons from the world’s largest REDD+ program. *Forests*, v. 10, n. 3, p. 1-20, 2019. DOI: 10.3390/f10030272.

<sup>39</sup> LAING, Timothy; TASCHINI, Luca; PALMER, Charles. Understanding the demand for REDD+ credits. *Environmental Conservation*, v. 43, n. 4, p. 389-396, 2016. DOI: 10.1017/S0376892916000187.

<sup>40</sup> ICCT. *ICAO’s CORSIA scheme provides a weak nudge for in-sector carbon reductions*. Disponible en: <https://theicct.org/icaos-corsia-scheme-provides-a-weak-nudge-for-in-sector-carbon-reductions/>. Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>41</sup> IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Are biofuels ready for take-off?* Disponible en: <https://www.iea.org/commentaries/are-aviation-biofuels-ready-for-take-off>. Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>42</sup> GOSSLING, Stefan; LYLE, Chris. Transition policies for climatically sustainable aviation. *Transport Reviews*, v. 41, n. 5, p. 643-658, 2021. DOI: 10.1080/01441647.2021.1938284.

El hecho de que el CORSIA se centre en el crecimiento neutro en carbono significa que el plan solo se ocupará de la cantidad de emisiones que superen un promedio anual de referencia de CO<sub>2</sub><sup>43</sup>. Anualmente, esto dejará sin contabilizar cerca de 0,5 Gt de CO<sub>2</sub> procedentes del transporte aéreo comercial internacional<sup>44</sup>. El calentamiento relacionado con emisiones diferentes del CO<sub>2</sub> queda fuera del ámbito del CORSIA. El sistema está diseñado para iniciar una fase piloto (voluntaria, no obligatoria) en 2021 y, a continuación, pasar a una primera fase de aplicación (también voluntaria) entre 2024 y 2027 en la que participarán solo un grupo del total de aerolíneas existentes y que será plenamente operativa a partir de 2027. En junio de 2020, el Consejo de la OACI, en el contexto de la crisis de COVID-19, debilitó aún más el CORSIA al acordar modificar su línea de base a 2019 (en lugar de la media prevista originalmente de 2019/2020)<sup>45 46</sup>. El plan no tendrá ningún efecto significativo durante muchos años y los analistas y académicos estiman que no reducirá las emisiones de forma fiable (ya que el CORSIA tiene un enfoque casi exclusivo en la compensación). Dado que la capacidad futura del CORSIA para abordar las emisiones es incierta, es interesante señalar que, al estar basado en las Resoluciones de la Asamblea de la OACI y aplicarse a través de las Normas y Métodos Recomendados (más conocidas por acrónimo en inglés, SARP, *Standards And Recommended Practices*, las cuales son especificaciones técnicas adoptadas por el Consejo de la OACI de conformidad con el Artículo 38 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional<sup>47</sup>), el régimen no es vinculante en virtud del derecho internacional.

Asimismo, expertos y académicos proponen impulsar el fortalecimiento (y mejora) de CORSIA<sup>48 49 50 51</sup>. Una importante mejora de este marco político internacional sería presionar para que solo se permita una compensación real en términos de eliminación confiable de dióxido de carbono. Una opción clave para lograr emisiones negativas a gran escala es a través de la 'bioenergía con captura y almacenamiento de carbono' (BECCS, su acrónimo en inglés). Muchos escenarios incluyen BECCS como un camino rentable hacia el cumplimiento de los objetivos climáticos<sup>52 53 54</sup>. Si las aerolíneas financiaran la introducción en el mercado de la eliminación de dióxido de carbono a través de BECCS, por ejemplo, podría transformar el sector de la aviación de parte del problema a parte de la solución. Otro medio de fortalecer / mejorar el CORSIA sería incluir la compensación obligatoria para todas las emisiones de la aviación, no solo el aumento después de

<sup>43</sup> ICAO. *Resolution A39-3*. Disponible en: [https://www.icao.int/environmental-protection/documents/resolution\\_a39\\_3.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/documents/resolution_a39_3.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>44</sup> GÖSSLING, Stefan; HUMPE, Andreas. The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, v. 65, 102194, 2020. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102194

<sup>45</sup> ICAO. *Economic Impacts of COVID-19 on Civil Aviation*. Disponible en: <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Economic-Impacts-of-COVID-19.aspx>. Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>46</sup> ICAO. *ICAO Council agrees to the safeguard adjustment for CORSIA in light of COVID-19 pandemic*. Disponible en: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-Council-agrees-to-the-safeguard-adjustment-for-CORSIA-in-light-of-COVID19-pandemic.aspx>. Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>47</sup> ICAO. *How ICAO Develops Standards*. Disponible en: <https://www.icao.int/about-icao/airnavigationcommission/pages/how-icao-develops-standards.aspx>. Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>48</sup> BECKEN, Susanne; MACKKEY, Brendan. What role for offsetting aviation greenhouse gas emissions in a deep-cut carbon world? *Journal of Air Transport Management*, v. 63, p. 71–83, 2017. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2017.05.009

<sup>49</sup> ICCT. *Mitigating international aviation emissions*. Disponible en: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Aviation-Alt-Jet-Fuels\\_ICCT\\_White-Paper\\_22032017\\_vF.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Aviation-Alt-Jet-Fuels_ICCT_White-Paper_22032017_vF.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>50</sup> SCHEELHAASE, Janina; MAERTENS, Sven; GRIMME, Wolfgang; JUNG, Martin. EU ETS versus CORSIA – A critical assessment of two approaches to limit air transport's CO<sub>2</sub> emissions by market-based measures. *Journal of Air Transport Management*, v. 67, p. 55–62, 2018. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2017.11.007

<sup>51</sup> ZANIN, Massimiliano; DELIBASI, Tuba; TRIANA, Julio; MIRCHANDANI, Vaishali. Towards a secure trading of aviation CO<sub>2</sub> allowance. *Journal of Air Transport Management*, v. 56, p. 3–11, 2016. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2016.02.005

<sup>52</sup> AZAR, Christian; LINDGREN, Kristian; OBERSTEINER, Michael; RIAHI, Keywan; van VUUREN, Detlef; den ELZEN, Michel; MÖLLERSTEN, Kenneth; LARSON, Eric. The feasibility of low CO<sub>2</sub> concentration targets and the role of bio-energy with carbon capture and storage (BECCS). *Climatic Change*, v. 100, p. 195–202, 2010. DOI: 10.1007/s10584-010-9832-7

<sup>53</sup> FUSS, Sabine; LAMB, William; CALLAGHAN, Max; HILAIRE, Jérôme. Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters*, v. 13, n. 6, 2018. DOI: 10.1088/1748-9326/aabf9f

<sup>54</sup> SOLANO, Baltazar; DRUMMOND, Paul; EKINS, Paul. Decarbonizing the EU energy system by 2050: an important role for BECCS. *Climate Policy*, v. 17, 2017. DOI: 10.1080/14693062.2016.1242058



2020. Otra parte importante de una agenda climática de la aviación internacional es abordar las emisiones distintas del CO<sub>2</sub> del sector. El enrutamiento del tráfico aéreo optimizado para el clima, con el objetivo de minimizar los vuelos en espacios aéreos con alta humedad que causan emisiones diferentes a las de CO<sub>2</sub>, es una opción viable y hasta recomendable<sup>55 56</sup>.

## 4.2 Política regional de la Unión Europea

Desde 2012, las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vuelos comerciales con puntos de despegue y aterrizaje dentro de la Unión Europea se han incluido en el Sistema de Comercio de Derechos de Emisión de la UE (mejor conocido como EU-ETS, su acrónimo en inglés)<sup>57</sup>. El EU-ETS comenzó en 2005 y aspira a lograr reducciones globales de emisiones de manera rentable mediante el uso de derechos de emisión trazables como mecanismo para impulsar las reducciones de emisiones a sectores industriales y empresas en los que puedan aplicarse con el coste más bajo. El sistema cubre más de 12.000 plantas de energía y fabricación en los países de la Unión Europea. Desde 2012, algunas partes del sector de la aviación están incluidas en el EU-ETS, lo que significa que las compañías afectadas deben tener derechos de emisión que cubran sus emisiones anuales. La parte de aviación del EU-ETS cubre los vuelos en los que tanto el despegue como el aterrizaje se realizan dentro de la Unión Europea<sup>58</sup>. Inicialmente, la UE planeaba incluir todos los derechos incluso si el punto de despegue o aterrizaje estaba fuera de las fronteras de la UE (fórmula conocida como ‘alcance completo’). Pero después de las protestas de ciertos países, principalmente Estados Unidos y China, el sistema fue modificado a un denominado ‘alcance reducido’<sup>59</sup>. Asimismo, se prevé poner en marcha el ‘alcance completo’ para el año 2024.

Por otra parte, en el EU-ETS, las liberaciones anuales de derechos de emisión se establecen para disminuir linealmente, y no se liberarán nuevos derechos después de 2064, de acuerdo con las decisiones actuales<sup>60</sup>. Este punto final bien puede provocar aumentos sustanciales en el precio de los derechos de emisión, lo que a su vez podría hacer que más medidas de mitigación no sean económicamente viables. Otra posible consecuencia, si el EU-ETS y CORSIA van a seguir coexistiendo, es que el biocombustible de aviación se utilizará principalmente para vuelos dentro de la UE. Bajo el EU-ETS y los objetivos climáticos en general, se necesita un fuerte desarrollo tecnológico en paralelo con la limitación de los volúmenes de viajes. Últimamente se ha hablado mucho de los aviones con propulsión eléctrica, pero hay que tener en cuenta que, según estudios, tendrán que transcurrir aproximadamente cinco décadas desde el inicio del desarrollo de una nueva tecnología de propulsión eléctrica (aunque la misma ya está en marcha<sup>61 62 63</sup>) hasta que se renueve la

<sup>55</sup> GREWE, Volker; MATTHES, Sigrun; FRÖMMING, Christine; BRINKOP, Sabine. Feasibility of climate-optimized air traffic routing for trans-Atlantic flights. *Environmental Research Letters*, v. 12, n. 3, 2017. DOI: 10.1088/1748-9326/aa5ba0

<sup>56</sup> NIKLASS, Malte; LÜHRS, Lukas; GREWE, Volker; DAHLMANN, Katrin. Potential to reduce the climate impact of aviation by climate restricted airspaces. *Transport Policy*, v. 83, p. 102-110, 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2016.12.010

<sup>57</sup> EUROPEAN COMMISSION. *Allocation to the aviation sector*. Disponible en: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation-sector\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation-sector_en). Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>58</sup> WALKER, Thomas; BERGANTINO, Angela; SPRUNG-MUCH, Northrop; LOIACONO, Luisa. *Sustainable Aviation*. Cham (Switzerland): Palgrave Macmillan, 2020.

<sup>59</sup> EVANS, Antony. Emissions and Aviation: Towards Greener Air Transport. In: HARILAOS N. Psaraftis (ed.). *Green Transportation Logistics*. Heidelberg: Springer, 2016.

<sup>60</sup> EUROPEAN UNION. *Regulation 2017/2392*. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=C ELEX:32017R2392&rid=20>. Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>61</sup> EPSTEIN, Alan; O’FLARITY, Steven. Considerations for reducing aviation’s CO<sub>2</sub> with aircraft electric propulsion. *Journal of Propulsion Power*, v. 35, p. 572–582, 2019. DOI: 10.2514/1.B37015.

<sup>62</sup> SCHÄFER, Andreas; BARRETT, Steven; DOYME, Khan; DRAY, Lynnette; GNADT, Albert; SELF, Rod. Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*, 4, 160–166, 2019. DOI: 10.1038/s41560-018-0294-x

<sup>63</sup> ZAPOROZHETS, Oleksandr; ISAIENKO, Volodymyr; SYNYLO, Kateryna. Trends on current and forecasted aircraft hybrid electric architectures and their impact on environment. *Energy*, 211, 118814, 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118814

flota total mundial de aeronaves comerciales<sup>64</sup>, por lo que los aviones totalmente eléctricos desempeñarán apenas un papel más que marginal en la mitigación de las emisiones antes de 2050 <sup>65</sup>.

### 4.3 Iniciativas de políticas en América Latina

Muy a diferencia de la Unión Europea, en donde por las singulares características institucionales de ese mercado continental es relativamente más sencillo diseñar, generar e implementar normas y políticas, que todos los Estados miembro luego deben poner en marcha en sus países, en América Latina no pasa lo mismo ni tampoco sería posible, al no existir un mercado único tan consolidado a nivel político como el de la UE. Asimismo, existen ciertas iniciativas en políticas, por parte de organizaciones e instituciones latinoamericanas, para promover el desarrollo de una aviación sostenible en la región que se procede a desarrollar.

La Comisión Latinoamericana de Aviación Civil (CLAC) adoptó la Resolución A21-07 de 2014<sup>66</sup>, la cual contiene directrices y estrategias de orientación sobre medio ambiente y aviación civil para que puedan ser implementadas por los Estados miembros, instituciones y actores dentro del sector aeronáutico, en búsqueda de mejorar la productividad, competitividad y el crecimiento del transporte aéreo en la región.

Una de estas estrategias concierne a los combustibles alternativos que representan una herramienta importante para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En esta misma resolución se recomienda:

- a) Impulsar programas de investigación, innovación y avance tecnológico para el desarrollo de combustibles alternativos en la aviación civil, bajo enfoque sostenible tomando en cuenta los factores sociales, económico y ambiental.
- b) Promover iniciativas para el uso de biocombustibles en la aviación.
- c) Trabajar coordinadamente en promover que el desarrollo de combustibles alternativos no se convierta en una carga económica impositiva para el transporte aéreo.

Paralelamente, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) ha liderado y promovido diversas acciones de cooperación técnica en un ‘grupo de tareas’ que se ha venido a consolidar recientemente junto a diversos interesados. Por ejemplo, el IICA junto con la FAO (agencia de la ONU para la Alimentación y la Agricultura), la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) y el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) lanzó un planteamiento conceptual<sup>67</sup>, y una herramienta metodológica junto con la RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials – Mesa Redonda de los Biomateriales Sostenibles)<sup>68</sup>, para escalar y consolidar la vinculación sustentable de los territorios rurales en la cadena de valor para el suministro de biomasa a la industria de los combustibles sostenibles de aviación civil.

Por otro lado, se suma a la propuesta de iniciativas de políticas la Asociación Latinoamericana y del Caribe de Transporte Aéreo (ALTA), la cual se ha integrado junto a IICA, RSB y CAF (Banco de Desarrollo de América Latina), en un espacio interactivo, colaborativo y voluntario para revisar y analizar oportunidades para llevar a cabo una movilización efectiva de recursos externos orientados al desarrollo de combustibles sostenibles de aviación.

<sup>64</sup> SCHÄFER, Andreas; EVANS, Antony; REYNOLDS, Tom; DRAY, Lynnette. Costs of mitigating CO2 emissions from passenger aircraft. *Nature Climate Change* v. 6, n. 4, p. 412–417, 2016. DOI: 10.1038/nclimate2865

<sup>65</sup> LARSSON, Jorgen; ELOFSSON, Anna; STERNER, Thomas; AKERMAN, Jonas. International and national climate policies for aviation: a review. *Climate Policy*, v. 19, n. 6, p. 787-799, 2019. DOI: 10.1080/14693062.2018.1562871

<sup>66</sup> CLAC. Resolución A21-07. Directrices de orientación sobre medio ambiente y aviación civil en Latinoamérica. Disponible en: <https://clac-lacac.org/wp-content/uploads/2020/10/DO-DEC-S21-07.pdf>. Acceso: 24 septiembre 2023.

<sup>67</sup> IICA-FAO-OLADE-BID. Cadena de producción sustentable de bioqueroseno vinculada a los territorios rurales en América Latina y el Caribe. Brasilia: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017.

<sup>68</sup> IICA-RSB. Guía metodológica para implementación de los criterios de sostenibilidad de la RSB. Brasilia: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017.

En otro orden, a finales del 2020 se creó un foro técnico entre IICA, CAF, RSB y ALTA con el objetivo de identificar condiciones habilitantes que contribuyan a la recuperación innovadora, resiliente y sustentable de la industria de la aviación civil y de la agricultura, mediante la gestión de los combustibles sostenibles de aviación de cara a las oportunidades post COVID-19 en Latinoamérica y Caribe<sup>69</sup>.

Más recientemente, la CLAC, en su XXIV asamblea anual en 2022, generó la Resolución A24-3, ‘Orientación para el desarrollo normativo en la región con el fin de impulsar el uso de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF)’<sup>70</sup>, la cual aprueba y propone un conjunto de recomendaciones para la creación de una política regional en la creación de incentivos para programas de desarrollo y uso de SAF en la aviación comercial y no comercial. Dichas políticas pueden ser aplicadas directamente por las autoridades aeronáuticas nacionales o lideradas por éstas, para que la entidad competente dentro de las estructuras de los Estados las asuma.

La industria de la aviación ha adoptado un enfoque proactivo para abordar su contribución al desafío mundial urgente del cambio climático de conformidad con la Visión 2050 de la Organización de Aviación Civil Internacional<sup>71</sup> para los combustibles sostenibles de aviación. Las metas establecidas consisten en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en un promedio de 1,5% al año, para el periodo comprendido de 2009 a 2020, con miras a lograr un crecimiento neutro en carbono a partir de 2020 y reducir sus emisiones de carbono en un 50% para 2050 en comparación con los niveles de 2005. Uno de los elementos previstos como parte del cumplimiento de este objetivo es precisamente el combustible sostenible de aviación<sup>72 73</sup>. El SAF es producido a partir de materias primas renovables o derivadas de residuos -como aceites de cocina, grasas y residuos agrícolas- que cumplen con criterios de sostenibilidad. Utilizando combustibles alternativos sostenibles, se podrían reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en alrededor del 80% en comparación con los combustibles fósiles, sin cambios significativos a los sistemas de abastecimiento de combustible a la flota mundial de aeronaves<sup>75</sup>.

Según datos publicados por la Organización de Aviación Civil Internacional, el 70% del SAF se está produciendo en Estados Unidos y casi el 30% restante en Europa<sup>76</sup>. En este contexto, Latinoamérica, y principalmente Sudamérica, cuenta con las mejores condiciones respecto a materias primas para desarrollar combustible sostenible de aviación. Ahora bien, en sur del continente solo Brasil tiene el potencial de producir 9.000 millones de litros de SAF al año, provenientes de fuentes como residuos de la agricultura y de la industria maderera, una enorme capacidad donde también se estima que para 2030 la oferta mundial será de aproximadamente 24.000 millones de litros de SAF, de los cuales un 35% podrían salir perfectamente del mercado brasileño, convirtiendo a Brasil en el primer productor mundial de SAF<sup>77</sup>. En este concepto de SAF, Brasil viene liderando a nivel regional (Latinoamérica & Caribe) la investigación científica, aportando,

<sup>69</sup> IICA-CAF-RSB-ALTA. La industria de los combustibles sostenibles de aviación (SAF) en LAC de cara a las oportunidades post COVID-19. Disponible es: <https://iica.int/sites/default/files/2020-09/Foro%20t%C3%A9cnico%20virtual%20regional%20LAC%20SAF%20V1.0.pdf>. Acceso: 24 septiembre 2023.

<sup>70</sup> CLAC. Resolución A24-3. Orientación para el desarrollo normativo en la región con el fin de impulsar el uso de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF). Disponible es: [https://clac-lacac.org/wp-content/uploads/2022/03/RES\\_A24-03.pdf](https://clac-lacac.org/wp-content/uploads/2022/03/RES_A24-03.pdf). Acceso: 24 septiembre 2023.

<sup>71</sup> ICAO. Declaration of the second ICAO Conference on Aviation Alternative Fuels (CAAF/2). Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/pages/ICAO-Vision.aspx>. Acceso: 24 septiembre 2023.

<sup>72</sup> JUAN, Joon; HOANG, Anh; CHENG, Chin. Sustainable aviation fuel. *Fuel*, 347, 128369, 2023. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.128369.

<sup>73</sup> UNDAVALLI, Vamsikrishna; OLATUNDE, Bilikis; BOYLU, Rahim; WEI, Chuming; HAEKER, Josh; HAMILTON, Jerry; KHANDELWAL, Bhupendra. Recent advancements in sustainable aviation fuels. *Progress in Aerospace Sciences*, 136, 100876, 2023. DOI: 10.1016/j.paerosci.2022.100876.

<sup>74</sup> CHUCK, Christopher. *Biofuels for aviation*. Amsterdam: Elsevier, 2016.

<sup>75</sup> IATA. IATA 2011 Report on Alternative Fuels. Disponible en: <http://cdieselbr.com.br/Documents/IATA%202011%20Report%20on%20Alternative%20Fuels.pdf>. Acceso: 24 septiembre 2023.

<sup>76</sup> ICAO. Sustainable Aviation Fuel (SAF). Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx>. Acceso: 24 septiembre 2023.

<sup>77</sup> AVIATION WEEK. Brazil Will Be Top Global Producer Of SAF, Says Boeing. Disponible en: <https://aviationweek.com/special-topics/sustainable-aviation-fuel/brazil-will-be-top-global-producer-saf-says-boeing>. Acceso: 24 septiembre 2023.

desde hace algunos años, estudios e investigaciones relacionadas que pueden servir de soporte para posteriores desarrollos de políticas<sup>78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89</sup>.

Colombia, Paraguay, Chile, Argentina, Panamá, República Dominicana y México tienen grandes potenciales también, mantienen importantes fuentes de materia prima lo que los hace tener un gran potencial, como ninguna otra región del mundo, para producir SAF; y es que casi toda materia prima que se necesita para la producción de SAF se encuentra en Latinoamérica y el Caribe. Pero la limitante de la región es que no cuenta con políticas públicas, ni marcos regulatorios, que fomenten y den certeza jurídica a las empresas para que puedan invertir<sup>90</sup>.

## 5 Opciones de políticas ambientales para la aviación

A continuación, se presentan las diferentes posibles o potenciales políticas ambientales para la aviación, identificadas en el trabajo de revisión de la presente investigación, segmentadas por tipo de política (volunta-

<sup>78</sup> YOUSUF, Abu; GONZALEZ, Cristina. *Sustainable alternatives for aviation fuels*. Amsterdam: Elsevier, 2022.

<sup>79</sup> GUIMARAES, Henrique; BRESSANIN, Jessica; MOTTA, Ingrid; CHAGAS, Mateus; KLEIN, Bruno; BONOMI, Antonio; FILHO, Rubens; WATANABE, Marcos. Decentralization of sustainable aviation fuel production in Brazil through Biomass-to-Liquids routes: A techno-economic and environmental evaluation. *Energy Conversion and Management*, 276, 116547, 2023. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.116547.

<sup>80</sup> VÁSQUEZ, María; MARTÍNEZ, Aldemar; CASTILLO, Edgar; SILVA, Electo. Holistic approach for sustainability enhancing of hydrotreated aviation biofuels, through life cycle assessment: A Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117796, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117796.

<sup>81</sup> MORAES, Marcia; NASSAR, André; MOURA, Paula; LEAL, Rodrigo; CORTEZ, Leandro. Jet biofuels in Brazil: Sustainability challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 716–726, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.210.

<sup>82</sup> CORTEZ, Luis. Perspectives for Sustainable Aviation Biofuels in Brazil. *International Journal of Aerospace Engineering*, 264898, 2015. DOI: 10.1155/2015/264898.

<sup>83</sup> CORTEZ, Luis. *Roadmap for Sustainable Aviation Biofuels for Brazil*. Sao Paulo: Blucher Ltda., 2014.

<sup>84</sup> CREMONEZ, Paulo. Biofuels in Brazilian aviation: Current scenario and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1063–1072, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.097

<sup>85</sup> CREMONEZ, Paulo; FEROLDI, Michael; OLIVEIRA, Carlos; TELEKEN, Joel; Alves, Helton; SAMPAIO, Silvio. Environmental, economic and social impact of aviation biofuel production in Brazil. *New Biotechnology*, 32(2), 263–271, 2015. DOI: 10.1016/j.nbt.2015.01.001

<sup>86</sup> DA SILVA, Silvio; CHANDEL, Anuj. *Biofuels in Brazil*. Cham: Springer, 2014.

<sup>87</sup> MULLER-CASSERES, Eduardo. Are there synergies in the decarbonization of aviation and shipping? An integrated perspective for the case of Brazil. *iScience*, 25, 105248, 2022. DOI: 10.1016/j.isci.2022.105248.

<sup>88</sup> O'REILLY, Peter; SULZBACHER, Fabricio; PETRESCU, María. Aviation Fuel Tankering and Sustainability: The Brazilian Scenario. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 10(2), 2023. DOI: 10.58940/2374-6793.1786.

<sup>89</sup> CANTARELLA, Heitor; NASSAR, André; CORTEZ, Luis; JUNIOR, Ricardo. Potential feedstock for renewable aviation fuel in Brazil. *Environmental Development*, 15, 52–63, 2015. DOI: 10.1016/j.envdev.2015.05.004.

<sup>90</sup> AVIACIÓN NEWS. SAF: La mina de oro que Latinoamérica parece estar dispuesta a desperdiciar. Disponible en: <https://www.aviacionnews.com/2023/08/saf-latinoamerica/> Acceso: 24 septiembre 2023.



ria, basada en el mercado, regulatoria)<sup>91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106</sup>: (a) **políticas voluntarias**: compensaciones voluntarias de carbono, opción de compra de vuelo SAF (*Sustainable Aviation Fuel*) (se estima que el combustible de aviación sostenible (SAF) podría contribuir con alrededor del 65 % de la reducción de emisiones que necesita la aviación para alcanzar el cero neto en 2050<sup>107</sup>), etiquetas de carbono en el precio de los pasajes aéreos; (b) **políticas basadas en el mercado**: tasa de emisión, impuesto de pasajero aéreo, impuesto progresivo a viajero frecuente, IVA para todos los viajes aéreos, regla de tarifa mínima, asignación de franjas horarias (*slots*) en función de la eficiencia (de la quema de combustible de la aeronave), tasas de aterrizaje relacionadas con el carbono, impuesto sobre el nivel de uso de combustibles fósiles, eliminación de subsidios; y (c) **políticas regulatorias**: compensaciones de carbono obligatorias, eliminación de programas de fidelización por parte de las aerolíneas (por ejemplo por millas acumuladas), cuotas máximas de vuelo, prohibición de anuncios de transporte aéreo, eliminación gradual de vuelos de corta distancia, exigencia de mínimos (lo más elevado posible) factores de carga, reemplazo más rápido de aeronaves ineficientes, obligación de uso de combustible sintético para vuelos privados (no comerciales), cambios en la ruta de vuelo, *Feed-in quota* (o *Feed-in Tariff*), limitar/restringir/suspender la ampliación de los aeropuertos, obligación de cuota para los biocombustibles o cuota de combustible de aviación sostenible (SAF).

Como se puede observar, la mayoría de las políticas propuestas / sugeridas entrarían en las categorías 'basadas en el mercado' y 'regulatorias'. Las políticas no serían todas igual de eficaces, aunque hay que señalar que, en algunos casos su eficacia dependerá del nivel al que se fijen. Algunas podrían representar medidas transformadoras, mientras que otras tendrían efectos modestos o pequeños.

Por otro lado, la aplicabilidad de las diferentes políticas podría afectar a alguno de los siguientes criterios: comportamiento de la demanda de transporta aéreo, la tecnología relacionada (principalmente la aeronáu-

<sup>91</sup> BABAKHANI, Nazila; RITCHIE, Brent; DOLNICAR, Sara. Improving carbon offsetting appeals in online air- plane ticket purchasing: Testing new messages and using new test methods. *Journal of Sustainable Tourism*, v. 25, n. 7, p. 955–969, 2017. DOI: 10.1080/09669582.2016.1257013

<sup>92</sup> LARSSON, Jorgen; KAMB, Annelie; NASSEN, Jonas; AKERMAN, Jonas. Measuring greenhouse gas emissions from international air travel of a country's residents methodological development and application for Sweden. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 72, p. 137–144, 2018. DOI: 10.1016/j.eiar.2018.05.013

<sup>93</sup> LARSSON, Jorgen; ELOFSSON, Anna; STERNER, Thomas; AKERMAN, Jonas. International and national climate policies for aviation: a review. *Climate Policy*, v. 19, n. 6, p. 787–799, 2019. DOI: 10.1080/14693062.2018.1562871

<sup>94</sup> LARSSON, Jorgen; MATTI, Simon; NASSEN, Jonas. Public support for aviation policy measures in Sweden. *Climate Policy*, v. 20, n. 10, p. 1305–1321, 2020. DOI: 10.1080/14693062.2020.1759499

<sup>95</sup> GÖSSLING, Stefan; HUMPE, Andreas. The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, v. 65, 102194, 2020. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102194

<sup>96</sup> GÖSSLING, Stefan; HUMPE, Andreas; FICHERT, Frank; CREUTZIG, Felix. COVID-19 and pathways to low-carbon air transport until 2050. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 16, 034063, 2021. DOI: 10.1088/1748-9326/abe90b

<sup>97</sup> GOSSLING, Stefan; LYLE, Chris. Transition policies for climatically sustainable aviation. *Transport Reviews*, v. 41, n. 5, p. 643–658, 2021. DOI: 10.1080/01441647.2021.1938284

<sup>98</sup> ICCT. *Cost assessment of near and mid-term technologies to improve new aircraft fuel e-ciency*. Disponible en: [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT-aircraft-fuel-efficiency-cost-assessment\\_final\\_09272016.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT-aircraft-fuel-efficiency-cost-assessment_final_09272016.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>99</sup> ICCT. *U.S. Passenger Jets under ICAO's CO2 Standard, 2018–2038*. Disponible en: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Aircraft\\_CO2\\_Standard\\_US\\_20181002.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Aircraft_CO2_Standard_US_20181002.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>100</sup> ICCT. *The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union*. Disponible en: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Alternative\\_jet\\_fuels\\_cost\\_EU\\_20190320.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Alternative_jet_fuels_cost_EU_20190320.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

<sup>101</sup> JAGERS, Sverker; LÖFGREN, Asa; STRIPPLE, Johannes. Attitudes to personal carbon allowances: Political trust, fairness and ideology. *Climate Policy*, v. 10, n. 4, p. 410–431, 2010. DOI: 10.3763/cpol.2009.0673

<sup>102</sup> GOSSLING, Stefan; UPHAM, Paul. *Climate Change and Aviation*. London: Earthscan Publications, 2009.

<sup>103</sup> UPHAM, Paul; MAUGHAN, Janet; RAPER, David; THOMAS, Callum. *Towards Sustainable Aviation*. London: Earthscan Publications, 2003.

<sup>104</sup> KEARNS, Suzanne. *Fundamentals of International Aviation*. London: Routledge, 2021.

<sup>105</sup> DIXIT, Aasheesh; KUMAR, Patanjali; JAKHAR, Suresh. Airport-airline coordination for the decarbonization of the aviation sector. *Transportation Research Part D*, v. 120, 103781, 2023. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103781

<sup>106</sup> MCMANNERS, Peter. Developing policy integrating sustainability: A case study into aviation. *Environmental Science & Policy*, v. 57, p. 86–92, 2016. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.11.016

<sup>107</sup> IATA. *Policy SAF Deployment*. Disponible en: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-policy-2023.pdf>. Acceso en: 25 jul. 2023.

tica), y las normas o actitudes sociales (con respecto al uso/disfrute del transporte aéreo). Por ejemplo, una cuota de combustibles sostenibles influiría en el contenido de carbono de los sistemas de propulsión (cambio tecnológico); un impuesto sobre el carbono reduciría la demanda al aumentar el precio del transporte aéreo (cambio de la demanda); las estrategias gubernamentales de comunicación sobre el consumo intensivo de energía influirán en la percepción del transporte aéreo como algo deseable (cambio de la actitud o comportamiento social); un impuesto progresivo sobre el ‘viajero frecuente’ afectará a la demanda debido al aumento de los precios, pero también modificará las opiniones sobre la justificación de las pautas de viaje (un cambio en la actitud social frente a los viajes aéreos).

Es muy probable que las políticas propuestas o potenciales afectarían principalmente al comportamiento de la demanda. Por otro lado, las políticas voluntarias se prevén influyan y generen un cambio de las normas sociales. Las políticas voluntarias son también las menos eficaces a la hora de contribuir de forma fiable a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre las políticas que se podrían considerar como eficaces para reducir las emisiones figuran: ciertos deberes (llámese impuestos o cuotas o gravámenes) aplicable a los pasajeros aéreos (en especial a los frecuentes), y los gravámenes sobre las emisiones y los impuestos sobre el carbono<sup>108</sup>. Hay algunas pruebas de que los cambios en los precios de los pasajes aéreos tendrían que ser muy significativos para provocar una relevante disminución de la demanda<sup>109 110 111</sup>. Otras medidas que probablemente tendrían un efecto razonable para la reducción de emisiones son la introducción de un impuesto sobre el valor añadido (IVA) en todos los viajes aéreos, o un impuesto significativo para las aerolíneas de bajo coste. Eliminar las exenciones del IVA y del impuesto sobre el combustible tendría un efecto similar, ya que todas estas medidas aumentan el coste del transporte aéreo. Las políticas de mercado diseñadas para tener en cuenta cuestiones distributivas, como la proporción de emisiones causadas por los pasajeros frecuentes o las emisiones mucho más elevadas de los viajes en clase ejecutiva o primera clase, pueden contribuir de forma más significativa a la reducción de emisiones. Los factores de carga (relación oferta/demanda, es decir la relación entre la oferta de sillas y las ocupadas por los pasajeros) lo más altos posibles (cerca del 100%) tienen cierto potencial para reducir las emisiones<sup>112</sup>.

Entre las medidas más eficaces se podrían contemplar las que limitan la expansión del sistema de transporte aéreo. Por ejemplo, una reducción anual de las emisiones globales de una compañía aérea obligaría al sector a una mayor eficiencia (mayores factores de carga, renovación más rápida de los aviones, desarrollo de nuevos sistemas de propulsión, etc.). Los derechos de emisión de carbono o las cuotas máximas de vuelos para hacer frente a los pasajeros muy frecuentes también deberían tener efectos (positivos) significativos e inmediatos sobre las emisiones. Una ‘tarifa de alimentación’ o *Feed-in quota* (o también conocida como FIT, *Feed-in Tariff*, mecanismo de política diseñado para acelerar la inversión en tecnologías de energía renovable al ofrecer contratos a largo plazo a los productores de energía renovable) que obligue a la transición de los combustibles fósiles a los sintéticos no biogénicos hasta 2050 es otra medida eficaz para provocar el cambio tecnológico. Menos desarrollada conceptualmente, aunque con efectos potencialmente significativos, sería la obligación de uso de combustible sintético<sup>113</sup>, en especial para los aviones-jet privados o de tipo ejecutivo.

<sup>108</sup> FALK, Martin; HAGSTEN, Eva. Short-run impact of the flight departure tax on air travel. *International Journal of Tourism Research*, v. 21, n. 1, p. 37–44, 2019. DOI: 10.1002/jtr.2239

<sup>109</sup> MARKHAM, Francis; YOUNG, Martin; REIS, Arianne; HIGHAM, James. Does carbon pricing reduce air travel? Evidence from the Australian ‘Clean Energy future’ policy, July 2012 to June 2014. *Journal of Transport Geography*, v. 70, p. 206–214, 2018. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.06.008

<sup>110</sup> MAYOR, Karen; TOL, Richard. Scenarios of carbon dioxide emissions from aviation. *Global Environmental Change*, v. 20, n. 1, p. 65–73, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.08.001>

<sup>111</sup> OESINGMANN, Katrin. The effect of the European Emissions Trading System (EU ETS) on aviation demand: An empirical comparison with the impact of ticket taxes. *Energy Policy*, v. 160, 112657, 2022. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112657

<sup>112</sup> GOSSLING, Stefan; LYLE, Chris. Transition policies for climatically sustainable aviation. *Transport Reviews*, v. 41, n. 5, p. 643–658, 2021. DOI: 10.1080/01441647.2021.1938284

<sup>113</sup> BALLAL, Vedant; CAVALETTI, Otavio; CHERUBINI, Francesco; WATANABE, Marcos. Climate change impacts of e-fuels

Asimismo, el requisito de una distribución más densa de los asientos de clase superior (ejecutiva / primera clase) es una opción con un potencial considerable para reducir las emisiones. Otras políticas que podrían ser eficaces son la supresión de las subvenciones, la sustitución más rápida de los aviones ineficientes, la suspensión de las ampliaciones de los aeropuertos, la eliminación progresiva de los aviones viejos o la limitación del número de franjas horarias (*slots*) para los aviones ineficientes, desde el punto de vista de la quema de combustible fósil (generalmente los más antiguos). Los cambios en la trayectoria de vuelo para evitar la formación de estelas de condensación son potencialmente una vía para evitar el forzamiento climático, con un aumento potencialmente marginal en el uso de combustible<sup>114</sup>. Las cuestiones de equidad pueden cubrirse con políticas que reduzcan los vuelos no esenciales, limiten los vuelos frecuentes o aborden el transporte aéreo privado.

Otra política regulatoria eficaz podría ser el promover la denominada cuota para uso los biocombustibles (o combustible de aviación sostenible-SAF)<sup>115 116 117</sup>. Sin embargo, hay varios aspectos problemáticos a considerar. Un aspecto es el suministro global limitado de bioenergía, que difícilmente será suficiente para reemplazar los combustibles fósiles en todos los sectores a nivel mundial. Otra es que, según algunos estudios, el desempeño climático de los biocombustibles a base de materias primas puede ser peor que el de los combustibles fósiles<sup>118</sup>. Lo que queda son biocombustibles a partir de desechos y residuos, y los recursos disponibles para estos son relativamente bajos en volumen. Otro problema se relaciona con la posibilidad de que se generalice la práctica de lo que se denomina *tankering*, lo que significaría que, para distancias cortas y medias, las aerolíneas podrían incluir combustible para el viaje de regreso y así evitar repostar con el combustible más caro en un país con obligación de cuota. Esto, a su vez, aumentaría las emisiones debido a aviones más pesados en promedio. En teoría, una forma de evitar la práctica del *tankering* podría ser utilizar tarifas de aterrizaje en los aeropuertos diferenciadas según la proporción de biocombustible utilizado. En vista de esto, la puesta en marcha de un esquema de obligación de cuota con niveles de mezcla relativamente bajos podría ser una opción. Una política complementaria podría ser declaraciones climáticas obligatorias en los anuncios de viajes aéreos. Las medidas de política de información suelen tener solo un efecto directo marginal, pero como parte de un paquete de políticas pueden contribuir a aumentar la conciencia pública y la aceptación de otros instrumentos de política<sup>119</sup>.

Aunque algunos estudios han puesto de manifiesto el desinterés por reducir las emisiones y la resistencia a cualquier política que aumente el coste de los viajes aéreos<sup>120 121</sup>, otros estudios más recientes muestran una interrelación más compleja<sup>122</sup>. Por ejemplo, ciertas investigaciones muestran que las políticas que limitan los

---

for aviation in Europe under present-day conditions and future policy scenarios. *Fuel*, v. 338, 127316, 2023. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.127316

<sup>114</sup> TEOH, Roger; SCHUMANN, Ulrich; Majumdar, Arnab; Stettler, Marc. Mitigating the climate forcing of aircraft contrails by small-scale diversions and technology adoption. *Environmental Science & Technology*, v. 54, n. 5, p. 2941–2950, 2020. DOI: 10.1021/acs.est.9b05608

<sup>115</sup> HAMDAN, Sadeque; JOUINI, Oualid; CHEAITOU, Ali; JEMAI, Zied. Air traffic flow management under emission policies: Analyzing the impact of sustainable aviation fuel and different carbon prices. *Transportation Research Part A*, v. 166, p. 14–40, 2022. DOI: 10.1016/j.tra.2022.09.013

<sup>116</sup> MAYERES, Inge; PROOST, Stef; DELHAYE, Eef; NOVELLI, Philippe; CONIJN, Sjaak. Climate ambitions for European aviation: Where can sustainable aviation fuels bring us? *Energy Policy*, v. 175, 113502, 2023. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113502

<sup>117</sup> JIANG, Changmin; YANG, Hangjun. Carbon tax or sustainable aviation fuel quota. *Energy Economics*, v. 103, 105570, 2021. DOI: 10.1016/j.eneco.2021.105570

<sup>118</sup> SEARCHINGER, Timothy; WIRSENIUS, Stefan; BERINGER, Tim; DUMAS, Patrice. Assessing the e-ciency of land use changes for mitigating climate change. *Nature*, v. 564, p. 249–253, 2018. DOI: 10.1038/s41586-018-0757-z.

<sup>119</sup> GIVONI, Moshe; MACMILLEN, James; BANISTER, David; FEITELSON, Eran. From policy measures to policy packages. *Transport Reviews*, v. 33, n. 1, p. 1–20, 2013. DOI: 10.1080/01441647.2012.744779

<sup>120</sup> COHEN, Scott; HIGHAM, James; CAVALIERE, Christina. Binge flying: Behavioural addiction and climate change. *Annals of Tourism Research*, v. 38, n. 3, p. 1070–1089, 2011. DOI: 10.1016/j.annals.2011.01.013

<sup>121</sup> KANTENBACHER, Joseph; HANNA, Paul; COHEN, Scott; MILLER, Graham; SCARLES, Caroline. Public attitudes about climate policy options for aviation. *Environmental Science & Policy*, v. 81, p. 46–53, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.12.012

<sup>122</sup> COHEN, Scott; HANNA, Paul; GÖSSLING, Stefan. The dark side of business travel: A media comments analysis. *Transportation Research Part D*, v. 61, p. 406–419, 2018. DOI: 10.1016/j.trd.2017.01.004

viajes aéreos tienen menos apoyo entre la población; por otro lado, existe un apoyo significativo a una cuota de biocombustibles y a las etiquetas (de huella) de carbono<sup>123 124</sup>, así como a políticas reguladoras para frenar las emisiones de la aviación y eliminar las subvenciones<sup>125</sup>.

## 6 Conclusiones

Las emisiones de gases de efecto invernadero de la aviación seguirán aumentando, a menos que a corto-medio plazo se apliquen nuevas, eficaces, y verificables, políticas ambientales tanto locales / regionales como globales. El análisis aquí desarrollado ha sintetizado la evidencia de que las políticas actuales para hacer frente al cambio climático, formuladas para la industria de la aviación internacional, son inadecuadas para abordar las necesidades de mitigación. Además, estas políticas internacionales en curso (CORSIA y EU-ETS) ignoran cuestiones de distribución y la necesidad de eliminar progresivamente los combustibles fósiles. Se evidencia la necesidad de un nuevo marco político, integral / global, que se caracterice por una verificabilidad creíble, la exhaustividad (que tenga en cuenta todo el forzamiento climático generado por la industria de la aviación), la proyección de futuro (que conduzcan a una pronta y dinámica transición tecnológica aeronáutica, principalmente en los sistemas de propulsión), y finalmente que cuente con el apoyo de la sociedad.

En el análisis aquí presentando se hace mención que las potenciales o probables políticas ambientales para la aviación a diseñar y poner en ejecución no serían, necesariamente, todas igual de eficaces. Las políticas para poner en ejecución deberían complementar las políticas ambientales en curso (CORSIA y EU-ETS), que podrían abarcar, idealmente, todas las emisiones ligeras, contribuirían a frenar el aumento de la demanda de transporte aéreo y obligarían a la industria aeronáutica a la pronta implementación de nuevas tecnologías de propulsión.

Los nuevos marcos de política pública podrían tener una importante influencia en el comportamiento social (en relación con el consumo de viajes aéreos). Por ejemplo, muchos países de la Unión Europea ya tienen impuestos de pasajeros aéreos basados en la distancia. Ciertamente, dichos impuestos no estimulan el cambio tecnológico, pero pueden reducir la demanda de viajes aéreos y, por lo tanto, las emisiones. Los impuestos a los pasajeros aéreos también pueden estar motivados por el deseo de crear un entorno más equitativo entre los diferentes modos de transporte (donde el transporte por carretera paga impuestos sobre el combustible mientras que el transporte aéreo no), y como una forma de compensar la exención del IVA en los boletos de avión internacionales. Si los niveles de impuestos (relacionados con el transporte aéreo) están relativamente armonizados entre países, se pueden aumentar sustancialmente. Sin embargo, tales impuestos podrían encontrar la oposición de la industria de la aviación y el público en general. Por lo tanto, es relevante trabajar en arreglos fiscales alternativos con el potencial de una mayor aceptación general.

Está claro que, a largo plazo, el objetivo debe ser alcanzar la neutralidad climática. Dado que esto no es tecnológicamente posible en el corto-medio plazo, es necesario aplicar políticas (locales/regionales y globales) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la aviación a corto plazo. En esta línea se necesitan políticas para reducir la demanda y disminuir el impacto climático de los vuelos. Ya se ha mencionado que la única política ambiental en curso a nivel global, CORSIA, es una respuesta a las peticiones de una solución global, sin embargo, está muy lejos de ser perfecta o eficaz, como ya se ha analizado. Pero

<sup>123</sup> RATHORE, Himanshu; JAKHAR, Suresh. Differential carbon tax policy in aviation: One stone that kills two birds? *Journal of Cleaner Production*, v. 296, 126479, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126479.

<sup>124</sup> LARSSON, Jorgen; MATTI, Simon; NASSEN, Jonas. Public support for aviation policy measures in Sweden. *Climate Policy*, v. 20, n. 10, p. 1305-1321, 2020. DOI: 10.1080/14693062.2020.1759499.

<sup>125</sup> GÖSSLING, Stefan; HUMPE, Andreas. The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, v. 65, 102194, 2020. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102194.



esto no debe ser una excusa para abstenerse de aplicar otras políticas (locales/regionales/globales). Por ejemplo, es crucial centrarse en las emisiones distintas de las de CO<sub>2</sub>, como las de NO<sub>x</sub> (ya que la versión actual del CORSIA sólo se ocupa de las emisiones de CO<sub>2</sub>). Parece evidente que será necesario un cambio de mentalidad (y de comportamiento de consumo) para reducir la demanda de transporte aéreo. Es necesaria una mayor transparencia sobre las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la aviación para que los clientes (pasajeros aéreos) puedan tomar una decisión bien informada. Por ejemplo, las emisiones deberían declararse tanto en los billetes aéreos como en la publicidad relacionada.

En definitiva, y ya concluyendo, aunque los países apliquen combinaciones de políticas ambientales locales para la aviación que varíen en su enfoque, alcance y cobertura, todas ellas serán pertinentes para probar diferentes estrategias y aprender de los resultados, y porque no, contribuir a la formulación de políticas ambientales globales efectivas para la aviación.

## Referencias

ACI. *The ACI World Airport Traffic Forecasts 2022-2041*. Montreal: ACI, 2022.

AVIACIÓN NEWS. *SAF: La mina de oro que Latinoamérica parece estar dispuesta a desperdiciar*. Disponible en: <https://www.aviacionnews.com/2023/08/saf-latinoamerica/> Acceso: 24 septiembre 2023.

AVIATION WEEK. *Brazil Will Be Top Global Producer Of SAF, Says Boeing*. Disponible en: <https://aviationweek.com/special-topics/sustainable-aviation-fuel/brazil-will-be-top-global-producer-saf-says-boeing>. Acceso: 24 septiembre 2023.

AZAR, Christian; LINDGREN, Kristian; OBERSTEINER, Michael; RIAHI, Keywan; VAN VUUREN, Detlef; DEN ELZEN, Michel; MÖLLERSTEN, Kenneth; LARSON, Eric. The feasibility of low CO<sub>2</sub> concentration targets and the role of bio-energy with carbon capture and storage (BECCS). *Climatic Change*, v. 100, p. 195–202, 2010. DOI: 10.1007/s10584-010-9832-7

BABAKHANI, Nazila; RITCHIE, Brent; DOLNICAR, Sara. Improving carbon offsetting appeals in on-line air- plane ticket purchasing: Testing new messages and using new test methods. *Journal of Sustainable Tourism*, v. 25, n. 7, p. 955–969, 2017. DOI: 10.1080/09669582.2016.1257013

BALLAL, Vedant; CAVALETTI, Otavio; CHERUBINI, Francesco; WATANABE, Marcos. Climate change impacts of e-fuels for aviation in Europe under present-day conditions and future policy scenarios. *Fuel*, v. 338, 127316, 2023. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.127316

BECKEN, Susanne; MACKAY, Brendan. What role for offsetting aviation greenhouse gas emissions in a deep-cut carbon world? *Journal of Air Transport Management*, v. 63, p. 71–83, 2017. DOI: 10.1016/j.jairtra-man.2017.05.009

CANTARELLA, Heitor; NASSAR, André; CORTEZ, Luis; JUNIOR, Ricardo. Potential feedstock for renewable aviation fuel in Brazil. *Environmental Development*, 15, 52–63, 2015. DOI: 10.1016/j.envdev.2015.05.004

CHUCK, Christopher. *Biofuels for aviation*. Amsterdam: Elsevier, 2016.

CLAC. Resolución A21-07. Directrices de orientación sobre medio ambiente y aviación civil en Latinoamérica. Disponible en: <https://clac-lacac.org/wp-content/uploads/2020/10/DO-DEC-S21-07.pdf>. Acceso: 24 septiembre 2023.

CLAC. Resolución A24-3. Orientación para el desarrollo normativo en la región con el fin de impulsar el uso de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF). Disponible es: [https://clac-lacac.org/wp-content/uploads/2022/03/RES\\_A24-03.pdf](https://clac-lacac.org/wp-content/uploads/2022/03/RES_A24-03.pdf). Acceso: 24 septiembre 2023.

- COHEN, Scott; HANNA, Paul; GÖSSLING, Stefan. The dark side of business travel: A media comments analysis. *Transportation Research Part D*, v. 61, p. 406–419, 2018. DOI: 10.1016/j.trd.2017.01.004
- COHEN, Scott; HIGHAM, James; CAVALIERE, Christina. Binge flying: Behavioural addiction and climate change. *Annals of Tourism Research*, v. 38, n. 3, p. 1070–1089, 2011. DOI: 10.1016/j.annals.2011.01.013
- COMISIÓN EUROPEA. *Asignación de derechos a la aviación*. Disponible en: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation-sector\\_es](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation-sector_es). Acceso en: 24 jul. 2023.
- CORREA, Juliano; van der HOFF, Richard; RAJAO, Raoni. Amazon fund 10 years later: Lessons from the world's largest REDD+ program. *Forests*, v. 10, n. 3, p. 1-20, 2019. DOI: 10.3390/f10030272
- CORTEZ, Luis. Perspectives for Sustainable Aviation Biofuels in Brazil. *International Journal of Aerospace Engineering*, 264898, 2015. DOI: 10.1155/2015/264898
- CORTEZ, Luis. *Roadmap for Sustainable Aviation Biofuels for Brazil*. Sao Paulo: Blucher Ltda., 2014.
- CREMONEZ, Paulo. Biofuels in Brazilian aviation: Current scenario and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1063–1072, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.097
- CREMONEZ, Paulo; FEROLDI, Michael; OLIVEIRA, Carlos; TELEKEN, Joel; Alves, Helton; SAM-PAIO, Silvio. Environmental, economic and social impact of aviation biofuel production in Brazil. *New Biotechnology*, 32(2), 263-271, 2015. DOI: 10.1016/j.nbt.2015.01.001
- DALEY, Ben. *Air Transport and the Environment*. Surrey: Ashgate Publishing Limited, 2010.
- DA SILVA, Silvio; CHANDEL, Anuj. *Biofuels in Brazil*. Cham: Springer, 2014.
- DIXIT, Aasheesh; KUMAR, Patanjali; JAKHAR, Suresh. Airport-airline coordination for the decarbonization of the aviation sector. *Transportation Research Part D*, v. 120, 103781, 2023. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103781
- EFTHYMIOU, Marina; PAPTODOROU, Andreas. EU Emissions Trading scheme in aviation: Policy analysis and suggestions. *Journal of Cleaner Production*, v. 237, 117734. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117734
- EKICI, Filiz; ORHAN, Gamze; GUMUS, Oner; BAHCE, Abdullah. A policy on the externality problem and solution suggestions in air transportation: The environment and sustainability. *Energy*, v. 258, 124827, 2022. DOI: 10.1016/j.energy.2022.124827
- EPSTEIN, Alan; O'FLARITY, Steven. Considerations for reducing aviation's CO2 with aircraft electric propulsion. *Journal of Propulsion Power*, v. 35, p. 572–582, 2019. DOI: 10.2514/1.B37015
- EUROPEAN COMMISSION. *Allocation to the aviation sector*. Disponible en: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation-sector\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation-sector_en). Acceso en: 25 jul. 2023.
- EUROPEAN UNION. *Regulation 2017/ 2392*. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2392&rid=20>. Acceso en: 25 jul. 2023.
- EVANS, Antony. Emissions and Aviation: Towards Greener Air Transport. In: HARILAOS N. Psaraftis (ed.). *Green Transportation Logistics*. Heidelberg: Springer, 2016.
- FALK, Martin; HAGSTEN, Eva. Short-run impact of the flight departure tax on air travel. *International Journal of Tourism Research*, v. 21, n. 1, p. 37–44, 2019. DOI: 10.1002/jtr.2239
- FUSS, Sabine; LAMB, William; CALLAGHAN, Max; HILAIRE, Jérôme. Negative emissions-Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters*, v. 13, n. 6, 2018. DOI: 10.1088/1748-9326/aabf9f
- GIVONI, Moshe; MACMILLEN, James; BANISTER, David; FEITELSON, Eran. From policy measures to policy packages. *Transport Reviews*, v. 33, n. 1, p. 1–20, 2013. DOI: 10.1080/01441647.2012.744779

- GÖSSLING, Stefan; HUMPE, Andreas. The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, v. 65, 102194, 2020. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102194
- GÖSSLING, Stefan; HUMPE, Andreas; FICHERT, Frank; CREUTZIG, Felix. COVID-19 and pathways to low-carbon air transport until 2050. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 16, 034063, 2021. DOI: 10.1088/1748-9326/abe90b
- GÖSSLING, Stefan; LYLE, Chris. Transition policies for climatically sustainable aviation. *Transport Reviews*, v. 41, n. 5, p. 643–658, 2021. DOI: 10.1080/01441647.2021.1938284
- GÖSSLING, Stefan; UPHAM, Paul. *Climate Change and Aviation*. London: Earthscan Publications, 2009.
- GREWE, Volker; MATTHES, Sigrun; FRÖMMING, Christine; BRINKOP, Sabine. Feasibility of climate-optimized air traffic routing for trans-Atlantic flights. *Environmental Research Letters*, v. 12, n. 3, 2017. DOI: 10.1088/1748-9326/aa5ba0
- GUIMARAES, Henrique; BRESSANIN, Jessica; MOTTA, Ingrid; CHAGAS, Mateus; KLEIN, Bruno; BONOMI, Antonio; FILHO, Rubens; WATANABE, Marcos. Decentralization of sustainable aviation fuel production in Brazil through Biomass-to-Liquids routes: A techno-economic and environmental evaluation. *Energy Conversion and Management*, 276, 116547, 2023. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.116547
- HAMDAN, Sadeque; JOUINI, Oualid; CHEAITOU, Ali; JEMAI, Zied. Air traffic flow management under emission policies: Analyzing the impact of sustainable aviation fuel and different carbon prices. *Transportation Research Part A*, v. 166, p. 14–40, 2022. DOI: 10.1016/j.tra.2022.09.013
- HU, Yu-Jie; YANG, Lishan; CUI, Hefu; WANG, Honglei; LI, Chengjiang; TANG, Bao-Jun. Strategies to Mitigate Carbon Emissions for Sustainable Aviation: A Critical Review From a Life-cycle Perspective. *Sustainable Production and Consumption*, v. 33, p. 788–808, 2022. DOI: 10.1016/j.spc.2022.08.009
- IATA. *Policy SAF Deployment*. Disponible en: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75ba-c90f000760e998/saf-policy-2023.pdf>. Acceso en: 25 jul. 2023.
- IATA. *LATA 2011 Report on Alternative Fuels*. Disponible en: <http://cdieselbr.com.br/Documents/IATA%202011%20Report%20on%20Alternative%20Fuels.pdf>. Acceso: 24 septiembre 2023.
- ICAO. *Sustainable Aviation Fuel (SAF)*. Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx>. Acceso: 24 septiembre 2023.
- ICAO. Declaration of the second ICAO Conference on Aviation Alternative Fuels (CAAF/2). Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/pages/ICAO-Vision.aspx>. Acceso: 24 septiembre 2023.
- ICAO. *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>. Acceso en: 24 jul. 2023.
- ICAO. *Economic Impacts of COVID-19 on Civil Aviation*. Disponible en: <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Economic-Impacts-of-COVID-19.aspx>. Acceso en: 25 jul. 2023.
- ICAO. *How ICAO Develops Standards*. Disponible en: <https://www.icao.int/about-icao/airnavigationcommission/pages/how-icao-develops-standards.aspx>. Acceso en: 25 jul. 2023.
- ICAO. *ICAO Council agrees to the safeguard adjustment for CORSIA in light of COVID-19 pandemic*. Disponible en: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-Council-agrees-to-the-safeguard-adjustment-for-CORSIA-in-light-of-COVID19-pandemic.aspx>. Acceso en: 25 jul. 2023.
- ICAO. *Post-COVID-19 Forecasts Scenarios*. Disponible en: <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Post-Covid-Forecasts-Scenarios.aspx>. Acceso en: 24 jul. 2023.

ICAO. *Resolution A39-3*. Disponible en: [https://www.icao.int/environmental-protection/documents/resolution\\_a39\\_3.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/documents/resolution_a39_3.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

ICAO. *The ICAO Environmental Report 2019*. Montreal: ICAO, 2019. Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2019.aspx>. Acceso en: 24 jul. 2023.

ICCT. *Cost assessment of near and mid-term technologies to improve new aircraft fuel efficiency*. Disponible en: [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT-aircraft-fuel-efficiency-cost-assessment\\_final\\_09272016.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT-aircraft-fuel-efficiency-cost-assessment_final_09272016.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

ICCT. *ICAO's CORSIA scheme provides a weak nudge for in-sector carbon reductions*. Disponible en: <https://theicct.org/icaos-corsia-scheme-provides-a-weak-nudge-for-in-sector-carbon-reductions/>. Acceso en: 25 jul. 2023.

ICCT. *Mitigating international aviation emissions*. Disponible en: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Aviation-Alt-Jet-Fuels\\_ICCT\\_White-Paper\\_22032017\\_vF.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Aviation-Alt-Jet-Fuels_ICCT_White-Paper_22032017_vF.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

ICCT. *The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union*. Disponible en: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Alternative\\_jet\\_fuels\\_cost\\_EU\\_20190320.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Alternative_jet_fuels_cost_EU_20190320.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

ICCT. *U.S. Passenger Jets under ICAO's CO2 Standard, 2018–2038*. Disponible en: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Aircraft\\_CO2\\_Standard\\_US\\_20181002.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Aircraft_CO2_Standard_US_20181002.pdf). Acceso en: 25 jul. 2023.

IEA. *Are biofuels ready for take-off?* Disponible en: <https://www.iea.org/commentaries/are-aviation-biofuels-ready-for-take-off>. Acceso en: 25 jul. 2023.

IICA–FAO–OLADE–BID. *Cadena de producción sustentable de bioqueroseno vinculada a los territorios rurales en América Latina y el Caribe*. Brasilia: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017.

IICA-RSB. *Guía metodológica para implementación de los criterios de sostenibilidad de la RSB*. Brasilia: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017.

IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: 10.1017/9781009157926.004

IPCC. *Special report on global warming of 1.5°C*. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/> Acceso en: 24 jul. 2023.

JAGERS, Sverker, LÖFGREN, Asa; STRIPPLE, Johannes. Attitudes to personal carbon allowances: Political trust, fairness and ideology. *Climate Policy*, v. 10, n. 4, p. 410–431, 2010. DOI: 10.3763/cpol.2009.0673

JIANG, Changmin; YANG, Hangjun. Carbon tax or sustainable aviation fuel quota. *Energy Economics*, v. 103, 105570, 2021. DOI: 10.1016/j.eneco.2021.105570

JUAN, Joon; HOANG, Anh; CHENG, Chin. Sustainable aviation fuel. *Fuel*, 347, 128369, 2023. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.128369

KANTENBACHER, Joseph; HANNA, Paul; COHEN, Scott; MILLER, Graham; SCARLES, Caroline. Public attitudes about climate policy options for aviation. *Environmental Science & Policy*, v. 81, p. 46–53, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.12.012

KEARNS, Suzanne. *Fundamentals of International Aviation*. London: Routledge, 2021.

KLOWER, Milan; ALLEN, Myles; LEE, David; PROUD, Simon; GALLAGHER, Leo; SKOWRON, Agnieszka. Quantifying aviation's contribution to global warming. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 10, 104027, 2021. DOI: 10.1088/1748-9326/ac286e

LAING, Timothy; TASCHINI, Luca; PALMER, Charles. Understanding the demand for REDD+ credits. *Environmental Conservation*, v. 43, n. 4, p. 389–396, 2016. DOI: 10.1017/S0376892916000187



- LARSSON, Jorgen; ELOFSSON, Anna; STERNER, Thomas; AKERMAN, Jonas. International and national climate policies for aviation: a review. *Climate Policy*, v. 19, n. 6, p. 787-799, 2019. DOI: 10.1080/14693062.2018.1562871
- LARSSON, Jorgen; KAMB, Anneli; NASSEN, Jonas; AKERMAN, Jonas. Measuring greenhouse gas emissions from international air travel of a country's residents methodological development and application for Sweden. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 72, p. 137-144, 2018. DOI: 10.1016/j.eiar.2018.05.013
- LARSSON, Jorgen; MATTI, Simon; NASSEN, Jonas. Public support for aviation policy measures in Sweden. *Climate Policy*, v. 20, n. 10, p. 1305-1321, 2020. DOI: 10.1080/14693062.2020.1759499
- LEE, David; FAHEY, David; SKOWRON, Agnieszka. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, v. 244, 117834, 2021. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117834
- LYLE, Chris. Beyond the ICAO's CORSIA: Towards a more climatically effective strategy for mitigation of civil-aviation emissions. *Climate Law*, v. 8, n. 1-2, p. 104-127, 2018. DOI: 10.1163/18786561-00801004
- MACARIO, Rosario; van de VOORDE, Eddy. *The Air Transportation Industry*. Amsterdam: Elsevier, 2021.
- MARKHAM, Francis; YOUNG, Martin; REIS, Arianne; HIGHAM, James. Does carbon pricing reduce air travel? Evidence from the Australian 'Clean Energy future' policy, July 2012 to June 2014. *Journal of Transport Geography*, v. 70, p. 206-214, 2018. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.06.008
- MAYERES, Inge; PROOST, Stef; DELHAYE, Eef; NOVELLI, Philippe; CONIJN, Sjaak. Climate ambitions for European aviation: Where can sustainable aviation fuels bring us? *Energy Policy*, v. 175, 113502, 2023. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113502
- MAYOR, Karen; TOL, Richard. Scenarios of carbon dioxide emissions from aviation. *Global Environmental Change*, v. 20, n. 1, p. 65-73, 2010. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2009.08.001
- MCMANNERS, Peter. Developing policy integrating sustainability: A case study into aviation. *Environmental Science & Policy*, v. 57, p. 86-92, 2016. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.11.016
- MORAES, Marcia; NASSAR, André; MOURA, Paula; LEAL, Rodrigo; CORTEZ, Leandro. Jet biofuels in Brazil: Sustainability challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 716-726, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.210
- MULLER-CASSERES, Eduardo. Are there synergies in the decarbonization of aviation and shipping? An integrated perspective for the case of Brazil. *iScience*, 25, 105248, 2022. DOI: 10.1016/j.isci.2022.105248
- NIKLASS, Malte; LÜHRS, Lukas; GREWE, Volker; DAHLMANN, Katrin. Potential to reduce the climate impact of aviation by climate restricted airspaces. *Transport Policy*, v. 83, p. 102-110, 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2016.12.010
- OESINGMANN, Katrin. The effect of the European Emissions Trading System (EU ETS) on aviation demand: An empirical comparison with the impact of ticket taxes. *Energy Policy*, v. 160, 112657, 2022. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112657
- OKOLIE, Jude; AWOTOYE, Damilola; TABAT, Meshach; OKOYE, Patrick. Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways. *iScience*, v. 26, 106944, 2023. DOI: 10.1016/j.isci.2023.106944
- O'REILLY, Peter; SULZBACHER, Fabricio; PETRESCU, María. Aviation Fuel Tankering and Sustainability: The Brazilian Scenario. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 10(2), 2023. DOI: 10.58940/2374-6793.1786

- PLANES, Thomas; DELBECQ, Scott; POMMIER-BUDINGER, Valerie; BENARD, Emmanuel. Simulation and evaluation of sustainable climate trajectories for aviation. *Journal of Environmental Management*, v. 295, 113079, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113079
- PULIAFITO, Enrique. Civil aviation emissions in Argentina. *Science of the Total Environment*, v. 869, 161675, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.161675
- RATHORE, Himanshu; JAKHAR, Suresh. Differential carbon tax policy in aviation: One stone that kills two birds? *Journal of Cleaner Production*, v. 296, 126479, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126479
- RUPCIC, Lea; PIERRAT, Eleonore; SAAVEDRA, Karen; THONEMANN, Nils; OGUGUA, Chizoba; LAURENT, Alexis. Environmental impacts in the civil aviation sector: Current state and guidance. *Transportation Research Part D*, v. 119, 103717, 2023. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103717
- SCHÄFER, Andreas; BARRET, Steven; DOYME, Khan. Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*, v. 4, p. 160–166, 2018. DOI: 10.1038/s41560-018-0294-x
- SCHÄFER, Andreas; BARRETT, Steven; DOYME, Khan; DRAY, Lynnette; GNADT, Albert; SELF, Rod. Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*, v. 4, p. 160–166, 2019. DOI: 10.1038/s41560-018-0294-x
- SCHÄFER, Andreas; EVANS, Antony; REYNOLDS, Tom; DRAY, Lynnette. Costs of mitigating CO<sub>2</sub> emissions from passenger aircraft. *Nature Climate Change*, v. 6, n. 4, p. 412–417, 2016. DOI: 10.1038/nclimate2865
- SCHEELHAASE, Janina; MAERTENS, Sven; GRIMME, Wolfgang; JUNG, Martin. EU ETS versus CORSIA – A critical assessment of two approaches to limit air transport's CO<sub>2</sub> emissions by market-based measures. *Journal of Air Transport Management*, v. 67, p. 55–62, 2018. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2017.11.007
- SEARCHINGER, Timothy; WIRSENIUS, Stefan; BERINGER, Tim; DUMAS, Patrice. Assessing the efficiency of land use changes for mitigating climate change. *Nature*, v. 564, p. 249–253, 2018. DOI: 10.1038/s41586-018-0757-z
- SHER, Farooq; RAORE, David; KLEMES, Jifi. Unprecedented impacts of aviation emissions on global environmental and climate change scenario. *Current Pollution Reports*, v. 7, p. 549–564, 2021. DOI: 10.1007/s40726-021-00206-3
- SOLANO, Baltazar; DRUMMOND, Paul; EKINS, Paul. Decarbonizing the EU energy system by 2050: an important role for BECCS. *Climate Policy*, v. 17, 2017. DOI: 10.1080/14693062.2016.1242058
- TEOH, Roger; SCHUMANN, Ulrich; MAJUMDAR, Arnab; STETTLER, Marc. Mitigating the climate forcing of aircraft contrails by small-scale diversions and technology adoption. *Environmental Science & Technology*, v. 54, n. 5, p. 2941–2950, 2020. DOI: 10.1021/acs.est.9b05608
- UNDAVALLI, Vamsikrishna; OLATUNDE, Bilikis; BOYLU, Rahim; WEI, Chuming; HAEKER, Josh; HAMILTON, Jerry; KHANDELWAL, Bhupendra. Recent advancements in sustainable aviation fuels. *Progress in Aerospace Sciences*, 136, 100876, 2023. DOI: 10.1016/j.paerosci.2022.100876
- UPHAM, Paul; MAUGHAN, Janet; RAPER, David; THOMAS, Callum. *Towards Sustainable Aviation*. London: Earthscan Publications, 2003.
- VÁSQUEZ, María; MARTÍNEZ, Aldemar; CASTILLO, Edgar; SILVA, Electro. Holistic approach for sustainability enhancing of hydrotreated aviation biofuels, through life cycle assessment: A Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117796, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117796
- WALKER, Thomas; BERGANTINO, Angela; SPRUNG-MUCH, Northrop; LOIACONO, Luisa. *Sustainable Aviation*. Cham (Switzerland): Palgrave Macmillan, 2020.

- WALLS, Judith; WITTMER, Andreas. *Sustainable Aviation*. Cham (Switzerland): Springer, 2022.
- YOUSUF, Abu; GONZALEZ, Cristina. *Sustainable alternatives for aviation fuels*. Amsterdam: Elsevier, 2022.
- ZANIN, Massimiliano; DELIBASI, Tuba; TRIANA, Jul.; MIRCHANDANI, Vaishali. Towards a secure trading of aviation CO2 allowance. *Journal of Air Transport Management*, v. 56, p. 3-11, 2016. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2016.02.005
- ZAPOROZHETS, Oleksandr; ISAIENKO, Volodymyr; SYNYLO, Kateryna. Trends on current and forecasted aircraft hybrid electric architectures and their impact on environment. *Energy*, v. 211, 118814, 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118814

Para publicar na revista Brasileira de Políticas Públicas, acesse o endereço eletrônico [www.rbpp.uniceub.br](http://www.rbpp.uniceub.br)  
Observe as normas de publicação, para facilitar e agilizar o trabalho de edição.