

# EL IMPACTO AMBIENTAL DEL TRANSPORTE AÉREO Y LAS MEDIDAS PARA MITIGARLO

**Gustavo Alonso Rodrigo**

Profesor Titular de Universidad, E.T.S.I. Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

**Arturo Benito Ruiz de Villa**

Profesor Titular de Universidad, E.T.S.I. Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

## RESUMEN

La preocupación medioambiental guía en la actualidad muchas de las estrategias globales y nacionales de aplicación al sector del transporte. En transporte aéreo, el impacto ambiental es importante, pero los beneficios socioeconómicos también lo son. El crecimiento del transporte aéreo es el mayor de los desafíos del sector. Por el momento, está limitado por el mantenimiento de la seguridad y por la disponibilidad de infraestructuras, pero el impacto ambiental puede convertirse en el principal factor limitador. El transporte aéreo presenta actualmente el mayor crecimiento de todos los modos de transporte. La aviación comercial se enfrenta al reto de tomar un papel activo en la búsqueda e impulso de soluciones para alcanzar la sostenibilidad del sector, por lo tanto es necesario realizar un diagnóstico de situación a través de unos indicadores y modelos adecuados que midan el impacto ambiental del transporte aéreo. Los tipos de impacto ambiental del transporte aéreo se pueden clasificar como de efecto local (ruido, contaminación de aire local, uso de espacio), o de efecto global (consumo de materiales no renovables, aportación al cambio climático). La gestión del impacto ambiental comprende, además de medidas de reducción técnicas, diversas posibilidades económicas, que utilizan mecanismos de mercado (acuerdos voluntarios entre administración, operadores y consumidores, o cualquier combinación de ellos, impuestos y tasas, comercio de emisiones). En este trabajo se pasa revista a las diferentes medidas de gestión del impacto ambiental que se están implantando, tanto de carácter técnico como de contenido económico. Algunas de estas medidas están ya en vigor, otras en estudio. El análisis se centra fundamentalmente en el seno de la Unión Europea, que ha adoptado un papel de liderazgo mundial en la adopción de regulaciones ambientales, y el objetivo final es sacar conclusiones sobre la repercusión de estas medidas en general, y sobre el transporte aéreo en particular.

## 1. EL TRANSPORTE AÉREO EN EL MUNDO ACTUAL

El transporte aéreo se ha convertido en un elemento más de los que configuran el modo de vida de la sociedad actual. Sus dimensiones son ya masivas: en 2011 se transportaron por este medio 2.960 millones de pasajeros y 645.000 millones de toneladas-kilómetro (pasajeros + carga), suponiendo unos ingresos totales para las aerolíneas de 596.000 millones de dólares [IATA, 2011].

El transporte aéreo presenta actualmente el mayor crecimiento de todos los modos de transporte, manteniéndose de forma persistente por encima del crecimiento de la economía mundial. Hasta mediados de los años 90, ha crecido al 9% anual. Actualmente lo hace al 5%. Los pronósticos a futuro mantienen ese 5% al menos veinte años [Benito, 2008]. A su vez, este crecimiento es el mayor de los desafíos del sector. Por el momento, está limitado por el mantenimiento de la seguridad y por la disponibilidad de infraestructuras, pero a medio plazo el impacto ambiental puede convertirse en el principal factor limitador, al menos en los países más desarrollados.

La preocupación medioambiental guía en la actualidad las principales estrategias globales y nacionales de aplicación al sector del transporte. Es un reto para la industria de la aviación el ser activa en la búsqueda e impulso de soluciones para alcanzar la sostenibilidad del sector, por lo tanto es necesario realizar un diagnóstico de situación a través de unos indicadores y modelos adecuados que midan el impacto ambiental del transporte aéreo.

El impacto ambiental de las actividades relacionadas con el modo de transporte aéreo tiene algunas características específicas que le diferencian de los de otros modos de transporte:

- Extenso alcance geográfico tanto en la superficie terrestre como en las capas altas de la atmósfera.
- Los efectos locales están concentrados alrededor de las terminales de transporte (aeropuertos).
- Las reglas generales de la normativa de protección ambiental son uniformes a escala mundial, aunque su aplicación puede tener variantes de ámbito local. En ocasiones la legislación aeronáutica puede superponerse a otras regulaciones ambientales de carácter general.
- El impacto global es comparativamente pequeño en relación con el de otras actividades humanas, pero tiene mucha visibilidad y recibe una gran atención por parte de la opinión pública.

Una importante consideración adicional es que el transporte aéreo ofrece una gran cantidad de diferentes ventajas a la sociedad (rapidez de transporte y distribución, creación de empleo, competitividad, cohesión territorial, conectividad, *spin-off* tecnológico, intercambio científico y cultural, etc.), a las que se añade el mayor nivel de seguridad de todos los modos de transporte. El impacto ambiental constituye, prácticamente, el único

gran elemento negativo asociado con esta actividad y, por tanto, se están realizando grandes esfuerzos para su control y mitigación.

## **2. TIPOS DE IMPACTOS AMBIENTALES**

Los tipos de impacto ambiental del transporte aéreo se pueden clasificar como de efecto local y de efecto global, en función de su alcance [Commission of the European Communities, 2008; Eurocontrol, 2004 & 2010].

El transporte aéreo puede afectar determinadas cualidades del medio ambiente local, en las zonas alrededor de los aeropuertos, divididas en tres categorías:

- Ruido, en su mayor parte ocasionado por los movimientos de las aeronaves.

Las principales fuentes de ruido en la operación de las aeronaves son los motores y el ruido aerodinámico, este último dependiente de la posición de los dispositivos hipersustentadores y el tren de aterrizaje.

El ruido de los motores es dominante en las operaciones de despegue tanto bajo el avión como en dirección lateral. El gradiente de subida es un elemento esencial en el ruido ocasionado. En aproximación y aterrizaje de los aviones modernos, ambos niveles de ruido, propulsivo y aerodinámico son comparables, dependiendo de la configuración del avión.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) requiere la certificación acústica de los aviones antes de concederles el certificado de tipo. Las normas se encuentran en el Anexo 16, Parte I, al Convenio de Chicago. Las normas aumentan su exigencia a medida que avanza el diseño acústico, para asegurar la aplicación de la mejor tecnología disponible.

- Emisiones que deterioran la calidad del aire en el entorno aeroportuario

Su origen son los movimientos de las aeronaves, el funcionamiento de los equipos auxiliares, las actividades de las terminales y otros edificios aeroportuarios y el tráfico de otros modos de transporte que acceden al aeropuerto para transportar pasajeros y trabajadores.

- Afección paisajística

modificación del entorno requerida por las operaciones aeroportuarias, tanto por orografía como por el biotopo, eliminando especies incompatibles con la actividad aeronáutica, y acciones para evitar la contaminación de tierras y aguas por residuos y vertidos de esa actividad.

Por su parte, los impactos globales se subdividen en:

- Consumo de materias primas no renovables, principalmente queroseno, extraído de la destilación del crudo petrolífero, pero también algunos metales escasos, como el titanio, y empleo de sustancias prohibidas, como el halon.

La aviación consume alrededor del 12% del combustible fósil empleado en transporte. En 2010 se consumieron 286.000 millones de litros de queroseno, más una pequeña cantidad de gasolina de alto octanaje. El coste para la industria ascendió a 139.000 millones de dólares, equivalentes al PIB de un país como Hungría. No existe un combustible alternativo viable técnica y económicamente a corto y medio plazo, que se pueda emplear en las operaciones de vuelo como sustitutivo del queroseno. El mayor potencial de uso futuro reside en los combustibles sintéticos, particularmente los biocombustibles de segunda y tercera generación.

- Uso del espacio:

El transporte aéreo necesita:

- Suelo para infraestructuras (aeropuertos y centros de control de navegación aérea).
- Espacio aéreo para los vuelos, distribuido según la estructura local de sistemas de ayudas a la navegación.
- Una fracción del espectro radioeléctrico para las comunicaciones y servicios ATC (comunicaciones de las aeronaves con tierra).

La infraestructura de transporte ocupa, aproximadamente, el 1,2% del territorio de la UE. Los aeropuertos, a su vez, ocupan el 1% del terreno usado para infraestructura de transporte.

Los principales impactos ambientales derivados de esta utilización de los distintos espacios son:

- Degradación de los ecosistemas por su adaptación al uso aeronáutico
  - Contaminación de suelos y la capa freática por los vertidos de las actividades aeroportuarias
  - Contaminación o desvío del drenaje natural
  - Impacto paisajístico global
  - Interferencia con las rutas de aves migratorias en algunas rutas de ascenso y aproximación
- Contribución al calentamiento terrestre por emisión de gases de efecto invernadero.

La normativa específica existente ha venido ocupándose con preferencia de los impactos locales, regulando los niveles de emisión de las aeronaves, tanto en ruido, como en contaminación, combinando estas disposiciones con estándares ambientales de ámbito general o local. Sin embargo, a partir de la firma del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), en 1992, se ha producido una creciente atención sobre la influencia de las actividades aeronáuticas sobre este aspecto. Aunque su impacto es comparativamente pequeño, las grandes tasas de crecimiento y el elevado coste de las medidas correctoras posibles del sector hacen mirar con preocupación su importancia futura.

### **3. GESTIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL**

#### **3.1. Ruido**

El impacto acústico es el de mayor repercusión pública de todas las afecciones locales, manifestándose en un gran número de quejas de las comunidades de residentes en la vecindad de los aeropuertos. Unos 130 aeropuertos mundiales (105 de ellos europeos) en 27 países han adoptado medidas técnicas y/o económicas para controlar este efecto.

La política de mitigación adoptada por OACI, bajo la denominación de “Aproximación equilibrada” (*Balanced Approach*), recomienda el estudio caso por caso de la situación en cada aeropuerto y aplicar la mezcla más eficiente de cuatro elementos: reducción de ruido en la fuente, optimización de procedimientos operativos, políticas de uso de suelo y restricción de operaciones de los aviones más ruidosos. La Unión Europea hizo suya esta política a partir del año 2003.

- Reducción de ruido en la fuente

Los aviones civiles necesitan, para la obtención de su certificado de tipo y poder así entrar en servicio, realizar un complejo programa de ensayos, entre los que se encuentran algunos de certificación acústica, demostrando que los niveles de ruido emitidos no superan los máximos establecidos por el Anexo 16 al Convenio de Chicago.

Los límites admisibles que figuran en el Anexo 16 los fija el Comité de Protección de medio ambiente (CAEP) de OACI y son función de la Masa Máxima de Despegue de la aeronave (MTOW). El objetivo de estas normas es fomentar la introducción de la mejor tecnología acústica disponible en los nuevos diseños de aeronaves civiles. En consecuencia, los requisitos van haciéndose más estrictos, siguiendo los progresos de la tecnología. La primera edición del Anexo 16 afectaba a los modelos certificados a partir de 1971, según el texto incluido en el Capítulo 2 del Anexo. Posteriormente aparecieron el Capítulo 3, más estricto, aplicable a partir de 1977, y el Capítulo 4, actualmente en vigor, desde el 1 de enero de 2006. En estos momentos el CAEP está discutiendo un futuro Capítulo 5 que, posiblemente, entraría en vigor alrededor del año 2020.

El esquema de certificación mide el ruido en tres puntos, uno bajo la senda de despegue, otro bajo la trayectoria de aterrizaje y un tercero sobre una línea paralela al eje de la pista en unas condiciones de temperatura, humedad y viento predeterminadas. La unidad de medida elegida es el Decibelio Percibido Equivalente (EPNdB), que tiene en cuenta el nivel de molestia, los tonos puros del espectro de frecuencia y la duración del ruido.

Diversos modelos, como el INM, permiten convertir un conjunto de movimientos aéreos en una huella o contorno acústico que facilita la evaluación del impacto a efectos de planificación aeroportuaria, pudiendo utilizarse para Planes Directores y otros usos de suelo.

Los aeropuertos, en la mayoría de los casos, pueden emplear los valores de ruido certificados para introducir restricciones de diferentes formas:

- Basándose en los diferentes capítulos del Anexo 16, prohibiendo el acceso de los modelos que no cumplan ciertos límites (en la Unión Europea no se aceptan modelos que no cumplan al menos con el Capítulo 3 desde abril de 2002) o introduciendo un sistema de tasas relacionadas con el ruido certificado, más oneroso para los modelos que tienen menos margen con respecto a los niveles de certificación, como en los aeropuertos franceses.
- También pueden usar estas cifras para establecer categorías de niveles de ruido absolutos (no en función del MTOW). Heathrow y Barajas prohíben los vuelos nocturnos de aviones que no estén por debajo de límites establecidos por dos parámetros: el ruido certificado en aterrizaje y la media del ruido certificado en despegue y lateral. Este sistema penaliza claramente a las aeronaves de mayor tamaño.
- Un tercer sistema es el establecimiento de cuotas de ruido por temporadas de programación para cada línea aérea, concediendo autorizaciones a las compañías hasta alcanzar una cifra de ruido certificado acumulado, como hace Charles De Gaulle en todo el día y Barajas en período nocturno (23:00 a 07:00).

En otros casos se prefiere el uso de valores de ruido reales, medidos por un sistema monitor, para controlar el ruido de movimientos individuales o el impacto colectivo:

- Colocación de un micrófono en uno o más puntos estratégicos, con un nivel máximo de ruido aceptable, como en el aeropuerto J. F. Kennedy de Nueva York, cuya superación implica primero multas y, si es un hecho reiterado, puede llegarse hasta la prohibición de operar un cierto tipo de avión.
- Penalización económica de los aviones más ruidosos dentro de una determinada categoría (por ejemplo, birreactores de 100 a 150 plazas), según la estadística del ruido medido en determinados puntos del recinto aeroportuario, como se hace en Frankfurt y en otros aeropuertos alemanes

- Complimentación anual de una huella de impacto acústico global, pactada con las comunidades vecinas al aeropuerto y limitar de esta forma el número de movimientos permisible, procedimiento empleado en Ámsterdam.

- Procedimientos operativos

Las diferentes distribuciones de los espacios habitados alrededor de los aeropuertos pueden permitir el diseño de trayectorias y procedimientos operativos que aminoren el número de personas sujetas al ruido de los aviones. En despegue, algunos aeropuertos ordenan el uso de pistas preferentes y procedimientos especiales para los tipos de aviones más ruidosos, con reducciones de régimen de motor, si la seguridad lo permite, al sobrevolar núcleos de población.

El problema es mayor en aterrizaje, puesto que el sistema de aproximación instrumental (ILS) exige mantener una aproximación rectilínea de 3° de pendiente, en la fase final de la operación. Aparte de especificar pistas preferentes para aterrizajes nocturnos, algunos aeropuertos empiezan a requerir el uso de aproximaciones con descenso continuo (CDA), en las que el avión inicia el descenso en configuración de régimen mínimo de motor desde mucho antes que las aproximaciones regulares, reduciendo por tanto el impacto acústico. Igualmente, algunos aeropuertos prohíben el uso de inversores de empuje para ayudar a frenar el avión en períodos nocturnos y pueden restringir el uso de las unidades de potencia auxiliar (APU) y los rodajes de prueba de motores en ciertas zonas o a ciertas horas.

Muchos aeropuertos han instalado un sistema de vigilancia acústica que, unido al seguimiento radar de las trayectorias, les permite determinar si cada operación se ajusta con precisión a las sendas de impacto acústico mínimo diseñadas para cada modelo de avión. En general, los infractores suelen ser multados.

- Uso de suelo

Fuera del recinto aeroportuario, las competencias sobre restricciones en el uso del suelo son normalmente competencia de los municipios vecinos, cuyas ordenanzas pueden limitar el tipo de uso de terrenos sometidos a unos ciertos niveles acumulativos de ruido. Generalmente estas restricciones se aplican empleando huellas acústicas y los aeropuertos pueden tener que sufragar los gastos de aislamiento acústico de viviendas e incluso el traslado de sus moradores a otros lugares. La prohibición de edificar viviendas en las zonas afectadas ocasiona una importante pérdida de valor de los terrenos, por lo que los propios ayuntamientos suelen ser los más interesados en reducir todo lo posible el impacto acústico de los aeropuertos.

Aunque todas las cifras disponibles indican que, desde los años 70, pese a grandes niveles de incremento de tráfico, se ha producido una importante y continua disminución del número de personas seriamente afectadas por el ruido aeroportuario, esto no es homogéneo en todo el mundo y existen casos puntuales en los que el impacto acústico ha aumentado.

Una consideración adicional a tener en cuenta es la creciente sensibilidad de la población al ruido ambiente, considerando hoy como una molestia importante niveles de ruido tolerable hace unas décadas.

La clasificación más habitual de usos de suelo, en orden de ruido decreciente tiene 5 categorías:

- Zonas sin uso permitido, generalmente dentro del recinto aeroportuario.
- Zonas aceptables para usos agrícolas o ganaderos e instalaciones deportivas.
- Zonas para instalaciones industriales y empresas de servicios.
- Zonas aceptables para viviendas.
- Zonas de todo uso, incluidos hospitales y escuelas.

Algunos problemas técnicos para la zonificación provienen del hecho de que la unidad elegida para la certificación acústica de las aeronaves (EPNdB) no tiene traducción directa al dBA, que es la más usada en entornos urbanos. Toda la regulación de la Unión Europea de ruido acumulado durante un período de tiempo figura en niveles de ruido equivalentes ( $L_{eq}$ ), basados en dBA, lo que está haciendo que, poco a poco, la planificación aeroportuaria se traslade a esta unidad.

- Restricción de operaciones

Los estados más desarrollados acostumbran a utilizar la normativa del Anexo 16 como un sistema para ir retirando los modelos más ruidosos, a medida que aparecen nuevos límites regulatorios, en una secuencia que primero prohíbe la fabricación, seguidamente la importación y finalmente la operación de tales aeronaves. Así, en los primeros años 90, la mayoría de los países de la OCDE prohibieron la operación de aviones sin certificado de ruido. Mientras que, entre 2000 y 2002, hicieron lo propio con aquellos que solo cumplían con los límites del Capítulo 2.

La aprobación por la Asamblea de OACI del Capítulo 4, aplicable a nuevos modelos certificados después el 01/01/2006, llevaba adjunta la condición de que no se emplease esa norma para propiciar la retirada forzosa de modelos que sólo cumpliesen el Capítulo 3. Pese a ello, numerosos aeropuertos (no países) están procediendo a restringir durante ciertos períodos el acceso de aviones “Capítulo 3 menos 5 EPNdB” u otros mecanismos semejantes.

### **3.2. Contaminación del aire local**



Al contrario que el ruido, donde las operaciones de las aeronaves son el elemento dominante, las emisiones que deterioran la calidad de aire local en el entorno aeroportuario proceden tanto de los aviones como del resto de los elementos participantes en la actividad.

Está regulada por la normativa general de cada país. La Unión Europea cuenta con una norma general para sus países miembros, pero los valores límites pueden ser reducidos por las autoridades locales. Los aeropuertos europeos reciben una queja por la calidad del aire por cada 300 a causa del ruido.

De las emisiones resultantes de la combustión del queroseno, en el Anexo 16, Parte 2 se establecen niveles máximos de cuatro sustancias: partículas sólidas visibles (humo), hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Las tres primeras son consecuencia de imperfecciones en la combustión y mejorables con aplicación de tecnología, mientras que la formación de  $\text{NO}_x$  resulta de la combinación de oxígeno y nitrógeno del aire a las altas temperaturas reinantes en el interior de las cámaras de combustión de los motores. Dado que la eficiencia energética aumenta con la temperatura, el ahorro de combustible tiende a aumentar las emisiones de  $\text{NO}_x$ , lo que ha hecho necesaria la introducción de sucesivos límites de este tipo de emisiones contaminantes, aumentado progresivamente su exigencia, para mantener la presión sobre los fabricantes de motores.

A diferencia de la certificación acústica, el proceso de certificación de emisiones de motores de aviación se realiza mediante ensayos en banco de pruebas, midiendo el peso de los contaminantes emitidos en un ciclo específico de funcionamiento (LTO, Landing Take off), que simula una operación de despegue y otra de aterrizaje, manteniendo el motor a los empujes adecuados a las fases de vuelo correspondientes a aproximación, aterrizaje, rodaje de llegada, rodaje de salida, despegue y subida inicial, unos tiempos considerados como característicos de la forma de operar de las compañías aéreas. La maniobra simula lo que emite el motor desde que el avión se coloca a una altura sobre el aeropuerto de 3.000 ft para aterrizar, hasta que alcanza esa misma altura en la subida.

Actualmente el CAEP, en colaboración con la *Society of Automotive Engineers* (SAE) está elaborando el proceso de certificación necesario para incluir las partículas invisibles no volátiles (PM) en el Anexo 16 Parte 2, con vistas a su inclusión para la certificación de nuevos motores certificados alrededor del 2016.

Hasta el momento, los límites del Anexo 16, Parte 2, se han usado para construir esquemas de tasas relacionadas con las emisiones de  $\text{NO}_x$  y HC en 25 aeropuertos de cinco países europeos (Alemania, Dinamarca, Reino Unido, Suecia y Suiza), estableciendo categorías de motores según sus emisiones y aplicando porcentajes de incremento de tasas de aterrizaje sobre los tipos de motores más contaminantes.

Aunque la normativa no es exactamente la misma en todos ellos, las líneas generales se basan en los principios defendidos por la Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC)

y en la filosofía de OACI sobre tasas ambientales, que requiere a los Estados no obtener más dinero del necesario para los programas ambientales dirigidos a mitigar el efecto que se penaliza.

El primer aeropuerto mundial que implantó una tasa sobre las emisiones de NO<sub>x</sub> de los aviones civiles fue el de Zurich y el producto de la recaudación se destina a una variedad de medidas, entre las que se incluyen la sustitución de vehículos y equipos de pista con motores de explosión por vehículos eléctricos, el remplazamiento de la climatización de los edificios del aeropuerto por energía solar y plantas de gas de ciclo combinado, subvenciones a los transportes colectivos que acceden al aeropuerto, así como el mantenimiento del equipo monitor de la calidad de aire local.

Las limitaciones legales más recientes de los límites de emisiones de NO<sub>x</sub>, adoptadas por OACI, son:

- La Asamblea de OACI aprobó en 2004 la decisión del CAEP/6 de reducir los límites un 12% adicional, aplicable a nuevos motores a partir del 01/01/2009.
- La última Asamblea de OACI, en octubre de 2010 aprobó reducir los límites un 15% para motores OPR $\geq$ 30 y entre el 5 y el 15% para motores OPR<30, certificados a partir de 01/01/2013.

La calidad del aire de las zonas aeroportuarias cumple los estándares mundiales, con pequeños márgenes en el caso de aeropuertos muy grandes. En el país con una normativa más exigente en este campo, Suiza, únicamente el contorno del aeropuerto de Zurich sobrepasa a veces los límites de NO<sub>x</sub>, curiosamente en dos puntos próximos a la principal autopista de la zona. La dispersión de los contaminantes en espacios abiertos hace difícil identificar la fuente de cada uno, por lo que las estadísticas son de reducido valor. La modelización está aún en una fase muy primitiva por la multiplicidad de fuentes fijas y móviles que participan en las emisiones globales. La calidad del aire es el factor limitador de algunos desarrollos aeroportuarios, como la tercera pista de Heathrow, recientemente paralizada, tras las recientes elecciones generales del Reino Unido. El principal problema para aumentar la capacidad del aeropuerto podrían ser los óxidos de nitrógeno, producidos tanto por los vuelos adicionales, como por el aumento consecuente del tráfico de superficie.

### **3.3. Contribución al cambio climático**

De acuerdo con las definiciones incluidas en el Protocolo de Kioto de 1997, el único gas de efecto invernadero producido por la aviación civil es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), producto de la combustión del queroseno, en una relación fija de 3,15 kilogramos de CO<sub>2</sub> por cada kilogramo de queroseno quemado. La aviación produce apenas un 2% de todo el CO<sub>2</sub> proveniente de las actividades humanas (antropogénico). Sin embargo, la emisión de

otros gases que no son de efecto invernadero a las altitudes en las que vuelan los aviones comerciales, pueden ser origen de alteraciones climáticas cuya relevancia no está aún bien determinada.

En estos momentos se considera que estas otras emisiones (NO<sub>x</sub>, vapor de agua, sulfuros, partículas de carbón) pueden aumentar un 50% el efecto de calentamiento del CO<sub>2</sub> y elevar hasta un 3-3,5% la influencia de la aviación en el calentamiento de la atmósfera. La comunidad científica no ha decidido aún si las estelas de condensación (*contrails*) colaboran o no en la formación de nubes de tipo cirro. Si la respuesta final fuera afirmativa, habría aún que elevar ese porcentaje de participación.

A diferencia de otras emisiones, actualmente no existe un estándar mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> de aeronaves civiles, aunque el Comité de Protección Ambiental de OACI (CAEP) lleva ya más de dos años trabajando en esta materia y se espera poder aprobar una nueva norma sobre esta materia en la próxima Asamblea General de 2013.

El sector aeronáutico ha hecho ya un gran esfuerzo por reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por motivos económicos, puesto que el combustible es un importante elemento de sus costes, pudiendo llegar a superar el 30% del total de costes de una compañía aérea. En los últimos 15 años, la eficiencia energética de la aviación comercial mundial, medida en términos de combustible consumido por tonelada-kilómetro transportada de pasajeros y carga, ha aumentado a razón de un 2% anual. Sin embargo, con un crecimiento medio del sector del 4-5%, se produce un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> de un 2-3% cada año.

Las compañías aéreas dan una máxima prioridad a la reducción de consumo de combustible. Por ello, es difícil incentivar aún más las mejoras en esta área con la aplicación de simples impuestos o tasas al combustible, ya suficientemente costoso. OACI realizó en el período 2001-2004 un detallado estudio sobre las posibilidades de introducir instrumentos económicos en este aspecto, llegando a la conclusión de que el comercio de emisiones (sistema *cap and trade*) en régimen abierto, con participación de otros sectores de la industria era el esquema más eficiente, puesto que permitía que la industria pudiese invertir en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en otros sectores en los que el coste unitario de la reducción fuese menor. Al mismo tiempo, se creaba un mercado de emisiones en el que las empresas más eficientes siguieran contando con incentivos económicos para proseguir su esfuerzo de minimizar emisiones aunque hubiesen llegado ya a los niveles fijados como objetivo

La falta de acuerdo unánime en OACI sobre la fecha y la forma de aplicación del comercio de emisiones a la aviación, hizo que la Unión Europea, que desde 2005 ya aplica este sistema a otros sectores de su actividad industrial, decidiera incluir en él a todos los vuelos civiles que despegan o aterrizan en aeropuertos de su territorio, a partir del 01/01/2012.

Esta acción unilateral ha ocasionado una intensa oposición en otros países, tales como Estados Unidos, China, India o Rusia, con un gran deterioro de las relaciones aeronáuticas internacionales, y consecuencias que hoy en día son difíciles de predecir.

#### **4. TRANSPORTE AÉREO Y SOSTENIBILIDAD**

Atendiendo a una definición de sostenibilidad, basada en la cobertura de las necesidades presentes sin poner en peligro la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones, la sostenibilidad del transporte aéreo precisa la solución de una serie de problemas que, en mayor o menor grado, son comunes a muchos otros sectores económicos.

Los problemas para un desarrollo sostenible son:

- Necesidad de políticas y estándares globales.

Una normativa de aplicación mundial, con estándares y recomendaciones es imprescindible para mejorar la seguridad, regularidad y eficiencia del transporte aéreo. El marco de OACI es el adecuado para:

- Armonizar las medidas (el grado de aplicación puede adaptarse a las necesidades locales).
  - Promover políticas estrictas de uso de suelo y acuerdos voluntarios antes de pasar a restricciones operativas.
  - Tener siempre a la vista la eficiencia de la red de transporte aéreo global.
- Medidas de buena relación coste/eficiencia.

El transporte aéreo es un sector globalizado que necesita:

- Medidas de protección ambiental similares en todo el mundo.
- Aplicadas con intensidad variable, según las necesidades.

La modificación de aviones y motores para adaptarlos a las demandas locales es ineficiente y, a veces, contraproducente. Las medidas deben ser eficientes para preservar la capacidad del sector de financiar nuevos desarrollos.

- Mejorar los conocimientos científicos.

El sector de la aviación civil necesita avances en la investigación de algunos aspectos de impacto ambiental:

- Posibilidad de nuevos elementos certificables (CO<sub>2</sub>, partículas no visibles).

- Otros elementos distintos del CO<sub>2</sub> en el cambio climático.
  - Desarrollo de combustibles alternativos (biocombustibles).
  - Otras fuentes de energía (solar, eléctrica, hidrógeno)
- Más investigación y desarrollo.

Necesidad de definir objetivos ambientales a medio y largo plazo, y una clara distinción entre resultados experimentales y su aplicación comercial., tanto en eficacia, como en plazos.

En este campo, la Unión Europea cuenta con dos programas de investigación y desarrollo aeronáuticos de gran alcance, enfocados al horizonte 2020: ACARE, dirigido a investigación básica, y Clean Sky, sobre investigación aplicada. Los objetivos finales aspiran a tener disponible en 2020 tecnologías que permitan reducir a la mitad el ruido aeronáutico, doblar la eficiencia energética y disminuir un 80% las emisiones de NO<sub>x</sub>, todo ello tomando como base la situación tecnológica del año 2000.

Algunas áreas importantes de investigación son [Airbus, 2010; Boeing, 2008 y 2010]:

- Configuraciones de avión no convencionales.
  - Nuevas plantas de potencia.
  - Combustibles alternativos.
  - Sistemas de navegación avanzados.
  - Nuevos materiales estructurales.
- Mejoras en las infraestructuras [OACI, 2010]
- CNS/ATM: acortamiento de rutas y el concepto free flight.
  - Cielo único: mejora de la eficiencia del ATM.
  - Minimización de congestión y nivel de retrasos en vuelo.
  - Sistemas cooperativos de gestión de uso de suelo: hacer llegar los beneficios del aeropuerto a las comunidades cercanas.
- Políticas de precios eficientes y equitativas.

La internalización de costes externos (el que contamina paga) permite un mejor ajuste de la demanda y la elección más eficiente del modo de transporte. El transporte aéreo paga directamente los costes de infraestructura y externaliza algunos costes ambientales. La carretera y el ferrocarril no pagan por completo sus costes de infraestructura y omiten

también algunos costes ambientales. La completa internalización elevaría los precios de los billetes, con reducción de demanda y trasvases intermodales.

- Soluciones intermodales.

Algunos ejemplos que funcionan actualmente:

- Acceso a los aeropuertos en transporte colectivo (autobús, metro, tren).
- Trenes de alta velocidad (TAV) o velocidad media, con paradas en las terminales de aeropuerto.
- Sustitución de vuelos cortos por servicios de TAV, con conexión sencilla.
- Billetes combinados aire-tierra.

La máxima eficiencia del sistema se obtiene mediante colaboración a escala:

- Local: entre aeropuertos, usuarios y comunidades cercanas.
- Regional: entre los diferentes modos de transporte (intermodalidad).
- Nacional: entre el sector transporte y otros sectores económicos (lucha contra el cambio climático).
- Mundial: entre los diversos elementos que promueven el desarrollo social y económico (transportes, comercio, turismo, finanzas).

## **5. CONCLUSIONES**

Los efectos ambientales del transporte aéreo reciben una creciente atención de la sociedad, hasta el punto de que en algunos países empieza a cuestionarse la necesidad de que siga creciendo el número de vuelos y de usuarios. De esta forma, el medio ambiente puede llegar a ser, a medio plazo, el principal factor limitador del crecimiento del sector.

Los tres principales aspectos cuya importancia puede ser decisiva en las dos próximas décadas son el ruido y las emisiones de  $\text{NO}_x$ , como limitadores del desarrollo de las infraestructuras aeroportuarias, y la aportación al cambio climático, hoy en día centrada en las emisiones de  $\text{CO}_2$ , como freno de la actividad general.

Las políticas empleadas para mitigar estos problemas han demostrado su eficiencia, especialmente en la regulación de las fuentes emisoras y en la optimización de procedimientos operativos, pero tienen resultados desiguales en la aplicación de otros elementos, como la gestión del uso de suelo o, de forma muy particular, los instrumentos económicos.

En los últimos años, la tendencia en los países más desarrollados se mueve hacia una mayor aplicación de instrumentos económicos flexibles, frente a las medidas directas regulatorias. En el caso del transporte aéreo, una actividad globalizada de cobertura mundial, esto conlleva la necesidad de alcanzar acuerdos a escala también mundial, difíciles de conseguir por necesitar el consenso de países de muy diferente nivel de desarrollo económico y social.

El apoyo y refuerzo de los foros mundiales de negociación, como OACI, posiblemente pasando por una importante reforma y agilización de sus mecanismos de decisión, parecen la mejor solución a corto plazo de todos estos desafíos.

## **REFERENCIAS**

Airbus, Global market forecast, 2010-2029 ([www.airbus.com](http://www.airbus.com))

Benito, A., Los aeropuertos en el sistema de transporte, Fundación AENA, 2008

Boeing, Informe medioambiental 2008 ([www.boeing.com](http://www.boeing.com) )

Boeing, Current Market Outlook, 2010-2029 ([www.boeing.com](http://www.boeing.com) )

Commission of the European Communities. Single European Sky II: towards more sustainable and better performing aviation, Communication [(2008) 389/2] from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 2008.

EUROCONTROL. European GAES-INVENT Emission Inventory 2002; Defining Sustainability in the Aviation Sector (2004); Indicators for the Management of Sustainable Growth in the Air Transport System (2004)

EUROCONTROL. Performance Review Report 2009: An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2009, EUROCONTROL Performance Review Commission, Brussels, May, 2010.

IATA, Financial Forecast, December 2011 ([www.iata.org](http://www.iata.org))

OACI, Environmental Report 2010 ([www.icao.org](http://www.icao.org) )