

# DESARROLLO SOSTENIBLE DEL TRANSPORTE AÉREO

Arturo Benito

Departamento de Infraestructura, Sistemas aeroespaciales y Aeropuertos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid  
Plaza del Cardenal Cisneros 3, 28040 Madrid, España  
Email: arturo.benito@upm.es

## RESUMEN

*En esta exposición se intentan establecer las condiciones necesarias para la evolución del transporte aéreo mundial, dentro de los esquemas de un desarrollo socioeconómico sostenible. En el enfoque utilizado se diferencian los conceptos de transporte aéreo sostenible y de transporte aéreo para un desarrollo socioeconómico sostenible, considerando el segundo como mejor adaptado a las necesidades de la sociedad actual.*

*Se revisan los tres pilares básicos de la sostenibilidad: social, económico y ambiental, describiendo las aportaciones actuales del transporte aéreo y las tendencias hacia los años venideros, con particular mención de los objetivos declarados por los diferentes actores del sistema.*

*A continuación se discute la congruencia de esos objetivos con las políticas existentes, otorgando una especial atención a la accesibilidad económica y protección medioambiental que resultan ser los más complicados de alcanzar. En particular, los efectos del transporte aéreo sobre el cambio climático, que ofrecen grandes dificultades para resultar compatibles con un desarrollo sostenible.*

*Como principales conclusiones, se cuestiona la verosimilitud de algunos de los principales objetivos declarados del sector en el área de sostenibilidad y se ofrecen algunas alternativas posibles para alcanzar un desarrollo del transporte aéreo compatible con los elementos de sostenibilidad deseables en la evolución de nuestra sociedad.*

**Palabras clave:** sostenibilidad, transporte aéreo, medio ambiente.

## 1.- EL CONCEPTO DE SOSTENIBILIDAD

El diccionario de la Real Academia Española de la Lengua en su última edición, la número 22 publicada en 2001, define sostenibilidad como la cualidad de sostenible y, a su vez, sostenible como un adjetivo que, dicho de un proceso, indica “que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace p. ej., un desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes”.

Con independencia de lo enrevesado de tal definición, resulta interesante destacar la relativa novedad de este concepto en nuestra lengua: en la anterior edición del conocido diccionario, la publicada en el año 1992 no figuraban las palabras sostenibilidad y sostenible, términos ambos empleados de manera usual en las conversaciones y documentos actuales en castellano y de uso común bastantes años antes en otras lenguas.

La idea de que algo se “mantiene por sí mismo, sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes” parece difícil de realizar desde un punto de vistas de las ciencias físicas, y tiene una preocupante semejanza con la utopía del movimiento continuo. Sin embargo, todo es cuestión de los términos en que se defina el sistema. Es evidente que la energía solar depende de las reacciones que tienen lugar en esa estrella alrededor de la cual orbita nuestro planeta, y que su existencia, en la configuración que todos conocemos, llegará a su fin dentro de unos 5.500 millones de años. A nuestros efectos podemos calificar la energía solar como de cantidad infinita y su uso no merma los recursos existentes, reflejando muy bien el concepto de sostenible.

Otra cosa muy diferente es el petróleo. Con independencia de que se admita o no la famosa teoría de Hubbert [1], que sostiene que la extracción de crudo petrolífero alcanzó un máximo en Estados Unidos en el año 1970 y en el resto del mundo en 2006, los pronósticos más optimistas conceden que esta fuente de energía no durará más de cien años. El consumo de petróleo es, por definición, no sostenible, puesto que no se produce más crudo. Esto es particularmente importante para el transporte, puesto que este sector consume aproximadamente la mitad de todo el petróleo extraído y en algunos modos, como el aéreo, no se percibe a medio plazo un combustible sustitutivo.

Otro elemento a introducir en el concepto de sostenibilidad es la variabilidad del sistema en el que los cambios en número y distribución geográfica de la población, sus necesidades y sus gustos, así como los desarrollos tecnológicos e industriales, modifican el tipo de recursos necesarios y los procesos de funcionamiento. Por ejemplo, las ciudades empezaron a iluminarse con farolas de petróleo o de gas, para pasar después a la electricidad que, a su vez puede generarse por fuentes de diversos tipos, incluyendo centrales que consumen petróleo o gas natural. En otros casos, hay un uso o un proceso que simplemente desaparecen de manera paulatina, bien por obsolescencia tecnológica, como el empleo de la tracción animal en el transporte, bien por problemas medio ambientales, como la producción de CFCs, sustancias que dañan la capa de ozono, o bien por extinción de la fuente, como el uso de grasa de ballena. En estos casos, el elemento de sostenibilidad es la existencia de recursos para sustentar la tarea o el uso alternativo.

## 1.1 DEFINICIÓN

La definición generalmente aceptada de sostenibilidad proviene de un informe elaborado para las Naciones Unidas en 1987, por la comisión encabezada por la Primera Ministra de Noruega Gro Harlem Brundtland [2]. El informe, titulado *Our Common Future* (Nuestro futuro común), tiene gran importancia por ser el primero que une el cuidado del medio natural o sostenibilidad de recursos naturales con la sostenibilidad socio-económica, buscando erradicar la pobreza mundial y construir una sociedad más igualitaria, al menos en los elementos básicos necesarios para llevar una vida digna.

La unión de los conceptos de protección ambiental y desarrollo socio-económico fue bautizado como desarrollo sostenible y responde a la definición contenida en el informe de:

“satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”

Una definición que ha sido generalmente aceptada durante los años siguientes y que está recogida en los documentos de la Primera Cumbre de Río de Janeiro en 1992 (Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo), en cuya Declaración Final se respalda y amplía este concepto.

La mera enunciación anterior expresa una idea razonable, muy intuitiva, pero ofrece algunos puntos problemáticos. El primero y quizás más importante es que las necesidades del presente son muy distintas en diferentes partes del globo y van inextricablemente unidas al nivel de desarrollo de cada zona mundial. El informe Brundtland, como se conoce popularmente el documento, reconoce este hecho y llega a aventurar la hipótesis de que probablemente no existan recursos para elevar el nivel socio-económico de las regiones más desfavorecidas hasta el de los países más ricos del planeta. En consecuencia, el desarrollo sostenible exigiría un desarrollo económico de las zonas de pobreza, combinado con dos tipos de restricciones: una general de tipo ecológico, con el compromiso de preservar los recursos naturales del planeta Tierra, y otra moral, de tipo económico, renunciando a niveles y formas de consumo que no serían alcanzables por la mayoría de la población, sin grave deterioro de esos recursos.

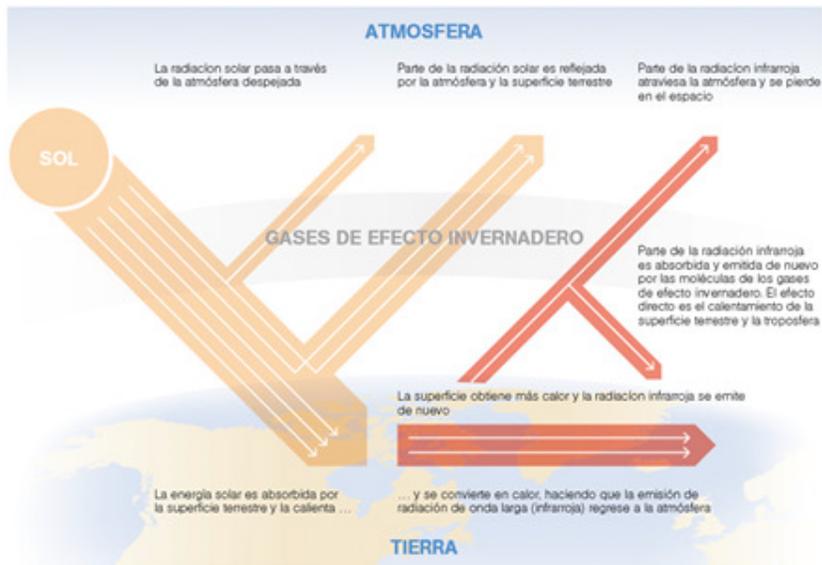
El informe no pretende la adopción de un conservacionismo fundamentalista y admite que la conservación de los ecosistemas debe estar subordinada al bienestar humano, puesto que es imposible preservarlos totalmente en su condición natural. Al mismo tiempo, advierte de la necesidad de un

estricto control demográfico, especialmente en cuanto a natalidad, si se quiere garantizar un nivel de vida razonable para toda la población.

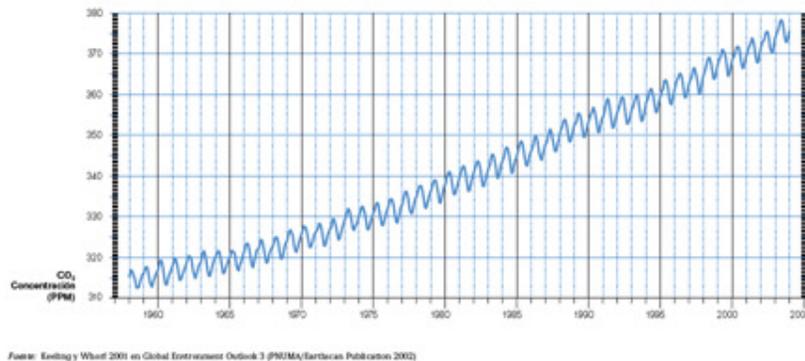
En este último punto, el informe enlaza con la actividad del Club de Roma, una Organización No Gubernamental, creada en 1968, y que se hizo mundialmente famosa en 1972, con la publicación del informe *The limits of Growth* (Los límites del crecimiento) [3], considerado por muchos como una simple expresión de la renovación de las teorías malthusianas, pero de innegable valor al apuntar los problemas que podría conllevar una explosión demográfica provocada por las mejoras de la sanidad pública y de la alimentación de la población mundial. Aunque su influencia en la opinión pública haya disminuido, el Club de Roma continúa activo y en 2012 ha publicado su último informe, titulado: “2052: una proyección para los próximos 40 años” [4], en el que aborda los mismos problemas que en sus primeros trabajos, bajo nuevos escenarios y desde un enfoque en el que las consecuencias de la superpoblación se manifiestan primeramente no en dificultades para la producción de alimentos suficientes, sino en los efectos de un cambio climático acelerado.

El cambio climático ha aparecido en los últimos años como la amenaza más poderosa a corto y medio plazo para la sostenibilidad del desarrollo socio-económico de la Humanidad. La idea básica es que las actividades humanas, singularmente el consumo de combustibles fósiles, podrían alterar la composición de la atmósfera y modificar la climatología, de forma que la temperatura media de las zonas donde se desarrolla la vida humana fuera subiendo, con graves consecuencias en términos de deshielo de los casquetes polares, subida del nivel de los océanos, desplazamiento de las zonas climáticas hacia los polos, desertización creciente, etc.

Los primeros apuntes de estas teorías llegan hasta 1859, cuando el profesor británico John Tyndall descubrió el papel de algunos compuestos atmosféricos, como el vapor de agua y el dióxido de carbono en el bloqueo de la radiación infrarroja, produciendo un “efecto invernadero” que explicaba el mantenimiento de temperaturas aceptables para la vida humana sobre la superficie terráquea. Tras la irrupción de la industrialización de la segunda mitad del siglo XIX, el físico sueco Svante August Arrhenius publicó el primer cálculo del calentamiento debido a las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen humano, pero no fue hasta 1961 cuando la publicación de las medidas de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, obtenidas por el químico norteamericano Charles Keeling demostraron un continuo aumento de la concentración de ese gas, que ha pasado de las 280 ppm (partículas por millón) de la era preindustrial, hasta las casi 400 ppm de la actualidad [5].



**Figura 1.-** Mecanismo del efecto invernadero



**Figura 2.-** Curva de Keeling con el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> (Keeling y Whorf 2001, contenido en Global Environment Outlook 3, PNUMA 2002)

La Declaración de Río de Janeiro de 1992 confirmó un amplio consenso de la comunidad científica internacional sobre los efectos de las actividades humanas en el cambio climático y se firmó el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), ratificado actualmente por 153 países, para mitigar estos efectos antropogénicos y estabilizar el calentamiento de la atmósfera terrestre en un máximo de 2° C sobre los niveles preindustriales. De esta forma, la lucha contra el cambio climático ha pasado a ser un elemento esencial dentro de las políticas de desarrollo sostenible.

La evaluación socio-económica de los efectos del cambio climático ha sido objeto de numerosos estudios. El más conocido es el publicado en octubre de 2006 por un comité presidido por el parlamentario británico David Stern [6], a petición del gobierno del Reino Unido. La conclusión es que realizar ahora las inversiones necesarias para que el calentamiento atmosférico se estabilice en los 2° C sería costoso, pero resultaría entre tres y cuatro veces más rentable, desde un punto de vista económico, que proseguir en la postura *business as usual* y tener que adaptarse a los cambios climáticos consecuencias de aumentos entre los 5 y 6° C, previsibles en los próximos 50 años, si no se toman medidas apropiadas.

## 1.2 TRANSPORTE Y DESARROLLO

La movilidad es una necesidad humana esencial y en el tipo de sociedad actual, la supervivencia de la humanidad y la evolución social dependen de la capacidad de mover personas y bienes de una forma segura, fiable y eficiente. Disponer de sistemas de movilidad adecuados y eficientes es un elemento primordial para el desarrollo económico. Una de las características intrigantes de la movilidad social es que, a medida que avanza la tecnología del transporte hacia viajes más rápidos y eficientes, el tiempo dedicado a viajar por parte del ciudadano permanece constante. El ciudadano, según han demostrado Zahavi y Talvitie [7], aprovecha estas mejoras para ir más lejos, no para reducir el tiempo de transporte, que permanece casi estable entre el 10 y el 15% del tiempo útil diario.

La actividad transportista es una actividad derivada y no una finalidad en sí misma. El concepto de transporte como actividad económica puede definirse como el movimiento de personas y cosas de un lugar a otro, creando valor añadido. Ello indica que el transporte tendrá lugar cuando el valor añadido creado supere los costes que supone para el viajero o el remitente de la mercancía.

La política de transportes influye poderosamente en el volumen y el modo escogido por la actividad a través de cuatro elementos diferentes:

- La reglamentación técnica  
En general, todos los modos de transporte responden a una reglamentación técnica que contempla requisitos mínimos de los vehículos, de las infraestructuras y de la operación de todo ello. La globalización creciente de la economía y la sociedad hace que estas normas sean cada vez más internacionales, pero aún quedan una serie de diferencias que pueden constituirse en barreras para la difusión internacional de los servicios de transporte, como los diferentes anchos de vía en el ferrocarril.
- La reglamentación comercial  
La normativa comercial se traduce muchas veces en barreras para la generalización de los servicios de transporte, al reservarse muchos Estados la concesión de derechos de transporte a empresas de su nacionalidad, como pasa en muchas zonas del mundo con la aviación comercial internacional.
- La provisión de infraestructuras  
Hasta hace no muchos años, las infraestructuras de transporte eran, con algunas pequeñas excepciones, de propiedad, construcción y explotación estatales, por lo que quedaba en manos del Gobierno de turno la decisión de qué parte de sus recursos asignar a estos fines y, a su vez, a qué zonas del país y a qué modos de transporte dedicarlos. Este elemento diferencia poderosamente el transporte de los países que dan preferencia al vehículo privado de aquellos que otorgan más importancia al transporte colectivo.
- La externalización de los costes  
En base estrictamente económica, el usuario debería sufragar los costes totales del transporte que utiliza y, según la definición del principio de este apartado, solo realizaría la operación de transporte si el valor añadido de la misma superase el coste total. Es evidente que, a medida

que se reducen los costes del transporte, aumentará previsiblemente la demanda de estos servicios. Si parte de los costes, como el uso de infraestructuras o los impactos ambientales no son costeados por el usuario, el resto de la comunidad estará subvencionando su viaje. Dado que el transporte es una actividad derivada, esa subvención pasa al usuario, que ve beneficiado su viaje o su envío de mercancía por encima de las condiciones del mercado. Los Gobiernos pueden acudir a estas políticas por diversas razones: para beneficiar otras actividades económicas importantes para el país, como puede ser el turismo, para evitar otros fenómenos, como la posible congestión del tráfico ciudadano, o para beneficiar a un modo de transporte respecto a los demás.

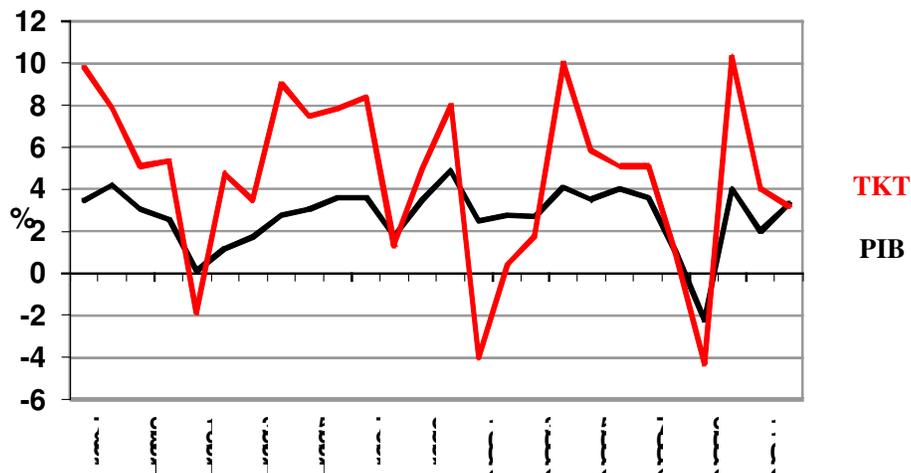
Si bien los agentes individuales del proceso actúan analizando las consecuencias de las políticas de transporte aplicadas para su elección del uso de los diferentes medios de transporte disponibles para un determinado viaje, seleccionando el modo que les ofrece un menor coste generalizado (la suma de todos los elementos económicamente cuantificables de un viaje), desde un punto de vista más agregado se trataría de analizar la adecuación y sostenibilidad del conjunto para la evolución económica y social de la comunidad para la que se legisle.

Ello llevaría a considerar el transporte como una herramienta para el desarrollo y por tanto, la pregunta pasaría de ser cómo conseguir un transporte sostenible a convertirse en cómo debe ser el transporte para el desarrollo sostenible de la sociedad. En esta segunda aproximación, el transporte coexiste con el resto de los elementos de desarrollo, como la explotación de los recursos naturales, los procesos industriales y el resto de la economía del sector servicios.

## 2. TRANSPORTE AÉREO Y SOSTENIBILIDAD

Algunas de las características más acusadas del transporte aéreo juegan un importante papel en el desarrollo sostenible. Las ventajas que la velocidad del vehículo y su gran alcance confieren a este modo de transporte le hacen imprescindible para desplazamientos rápidos de pasajeros a medias y largas distancias, hasta alcanzar un 8% del total mundial de pasajeros-kilómetro transportados.

En la actualidad, los modelos de aviones de transporte de más largo alcance, Boeing B777-200LR y Airbus A340-500 son capaces de unir sin escalas casi cualquier par de puntos de nuestro planeta. La creciente globalización del mundo, tanto en términos económicos como sociales, se apoya en estas capacidades y ocasiona grandes tasas de crecimiento en este modo de transporte, esencial para algunas actividades de gran importancia, como el turismo internacional. Este crecimiento se alinea con el incremento de PIB mundial, con una elasticidad media del orden de dos.



**Figura 3.** Evolución del tráfico aéreo y del PIB mundial. Variaciones en porcentaje sobre el año anterior  
Fuente: OACI y FMI

En la figura precedente pueden apreciarse las repercusiones de algunos de los sucesos relevantes para el desarrollo económico mundial, como la Guerra del Golfo de 1990-91, la crisis financiera del sudeste asiático en 1998, los atentados del 11-S en 2001 y la crisis financiera de 2008-09. En todos los casos economía y transporte aéreo se movieron en paralelo, salvo en el 11-S, cuando la utilización de aviones comerciales como arma de guerra afectó de forma particular a la aviación comercial.

### **3. ELEMENTOS DE SOSTENIBILIDAD**

El desarrollo sostenible es el resultado de un delicado equilibrio entre los efectos sociales, las repercusiones económicas y el impacto ambiental. Es evidente que las consecuencias de todas las actividades humanas tienen elementos de estos tres tipos y, por tanto, un análisis aislado de uno sólo de ellos no refleja con exactitud todos los factores a evaluar.

Las áreas primordiales de actuación para reforzar la sostenibilidad de cualquier actividad del sistema de transporte son cinco: accesibilidad física, reduciendo las barreras físicas de uso del sistema; accesibilidad económica, mitigando las barreras de precio; accidentalidad, disminuyendo las probabilidades estadísticas de que suceda un accidente y de sufrir daños a consecuencia de éste; seguridad, disminuyendo las probabilidades estadísticas de sufrir agresiones, robos o amenazas; y medio ambiente, procurando aminorar el impacto de las actividades de transporte sobre el medio ambiente [8]. A continuación se pasa revista a la situación general de estas cinco áreas en el transporte aéreo,

#### **3.1. ACCESIBILIDAD FÍSICA**

Las principales barreras de accesibilidad física al transporte aéreo pueden repartirse en dos grupos: acceso de individuos con capacidad física disminuida y acceso de grupos de población aislados o en zonas de difícil construcción de las infraestructuras necesarias.

En el primer grupo, las mayores dificultades aparecen en el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad en caso de emergencia, que exigen el abandono del avión en menos de 90 segundos utilizando solo las puertas de un costado del avión. Dependiendo del tipo de discapacidad que padezcan, algunos pasajeros pueden no entender la explicación de las medidas de seguridad impartida por la tripulación, incluyéndose aquí la barrera del idioma, o no pueden proceder a la evacuación con la celeridad precisa. En muchos casos se requiere que la persona discapacitada viaje acompañada por alguien que pueda ayudarle en estas circunstancias.

La configuración de los interiores de los aviones actuales presenta también algunos elementos, como asientos y lavabos, adaptados a las condiciones de pasajeros con movilidad reducida. La presurización del interior de la cabina y su bajo nivel de humedad puede no ser recomendable para algunas dolencias o estados avanzados del embarazo. No obstante, el número de personas afectadas por estas limitaciones es, hoy en día, muy pequeño.

El segundo grupo está desigualmente distribuido a lo ancho del mundo en función del entorno geográfico, las condiciones meteorológicas imperantes y el grado de desarrollo socioeconómico. La red de servicios de la aviación comercial cuenta con unas 1.600 compañías aéreas que sirven 3.900 aeropuertos con servicios regulares en todo el mundo en unas 35.000 rutas [9]. Sin embargo, más del 90% del tráfico aéreo mundial se concentra en rutas entre Norteamérica, Europa y Extremo Oriente, con mucha menor densidad de vuelos por debajo del ecuador, donde quedan aún algunas regiones con acceso muy limitado.

Las políticas de conectividad y accesibilidad llevadas a cabo por muchos gobiernos tienen al transporte aéreo como herramienta básica para comunicar regiones aisladas o con malas condiciones meteorológicas, llegando a subvencionar muchos de estos servicios como en el caso de los *Essential Aviation Services*” en Estados Unidos, o los Servicios de Interés General en la Unión Europea, donde

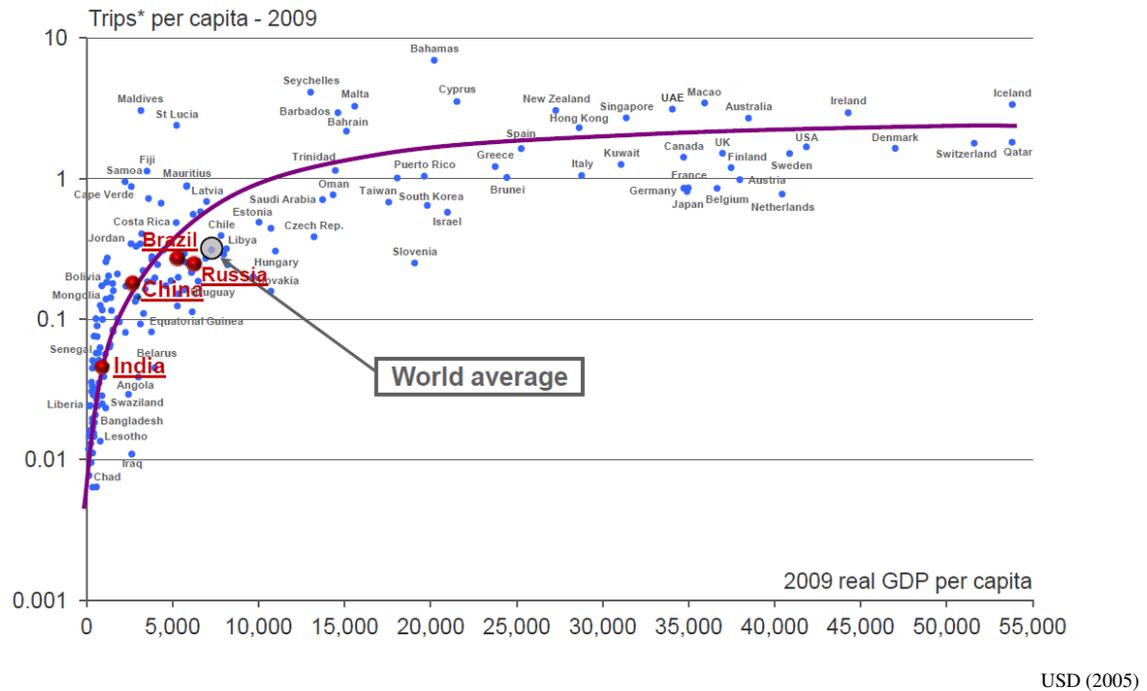
el programa de movilidad tiene como objetivo que se pueda viajar en un tiempo máximo de cuatro horas entre los principales núcleos de población de los 28 estados miembros.

Las políticas de cooperación intermodal o comodalidad son un excelente medio para conseguir estos propósitos, mediante combinaciones entre ferrocarril y avión o carretera y avión utilizando un mismo título de pasaje. La formación de grandes alianzas de compañías aéreas, como las conocidas *Star Alliance*, *oneworld* y *Sky Team* permiten ofrecer al viajero redes de servicios de alcance mundial sin tener que sufrir los inconvenientes de un cambio de transportista.

### 3.2. ACCESIBILIDAD ECONÓMICA

En sus orígenes el transporte aéreo era un modo de transporte reservado al uso de las clases sociales más favorecidas. Los grandes avances en tecnología aeronáutica y eficiencia operacional han permitido a un gran número de población el acceso económico a este servicio, En el año 2012 se realizaron algo más de 3.100 millones de viajes aéreos, sobre una población total del planeta algo superior a los 7.000 millones de habitantes.

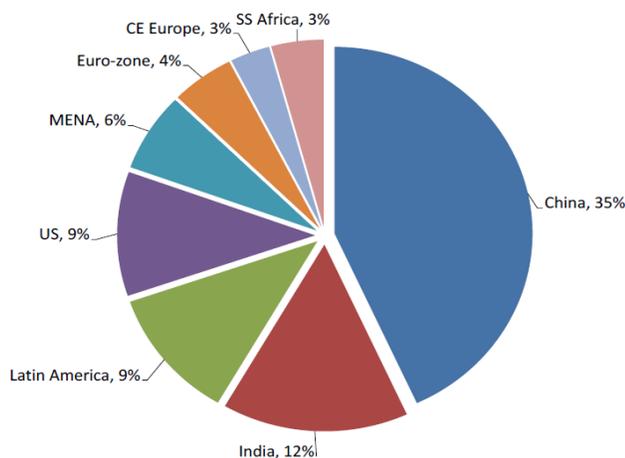
Esta media de 0,44 viajes por habitante se distribuye de manera muy desigual a lo largo del mundo, en función de la renta disponible de las familias. Aunque en muchos países se carece de buenas estadísticas de renta disponible, el empleo de la renta per cápita como indicador permite una aproximación relativamente buena, como puede verse en la **Figura 4**



**Figura 4.** Relación entre la renta per cápita nacional y el número de viajes aéreos (Fuente: OACI y FMI)

El ajuste de la curva de recesión es bastante aceptable, pudiendo observarse diferencias entre países de similar renta per cápita, ocasionadas por circunstancias de aislamiento geográfico, como el caso de Islandia, con alto número de vuelos, o de política de transportes, como en el centro de la Unión Europea, zona dotada de excelentes infraestructuras de transporte terrestre, cuyos costes son generalmente sufragados por los Estados.

La indicación de la tendencia a mejorar de la accesibilidad económica viene dada por la pendiente de la zona inicial de la curva, donde pequeños incrementos de renta per cápita producen grandes subidas de tráfico aéreo. En esa zona se encuentran algunos de los Estados más poblados del mundo, como China, India, Rusia, Indonesia o Brasil, donde se concentran las mayores tasas de crecimiento de la economía mundial. La incógnita de si será posible que esos países lleguen a una frecuencia de viajes similar a la actual en Estados Unidos (cerca de 3 viajes anuales por habitante) es una de las más difíciles de tratar dentro de un entorno de desarrollo sostenible. En la **Figura 5** puede observarse la gran participación de esos países en el crecimiento económico mundial durante el período 2008-2011. Los comúnmente denominados BRIC (Brasil, Rusia, India y China) aportaron algo más del 50% del incremento económico en esos años.



**Figura 5.** Participación de diferentes zonas geográficas en el crecimiento económico mundial durante el cuatrienio 2008-2011. (Fuente: UNECE)

### 3.3. ACCIDENTALIDAD

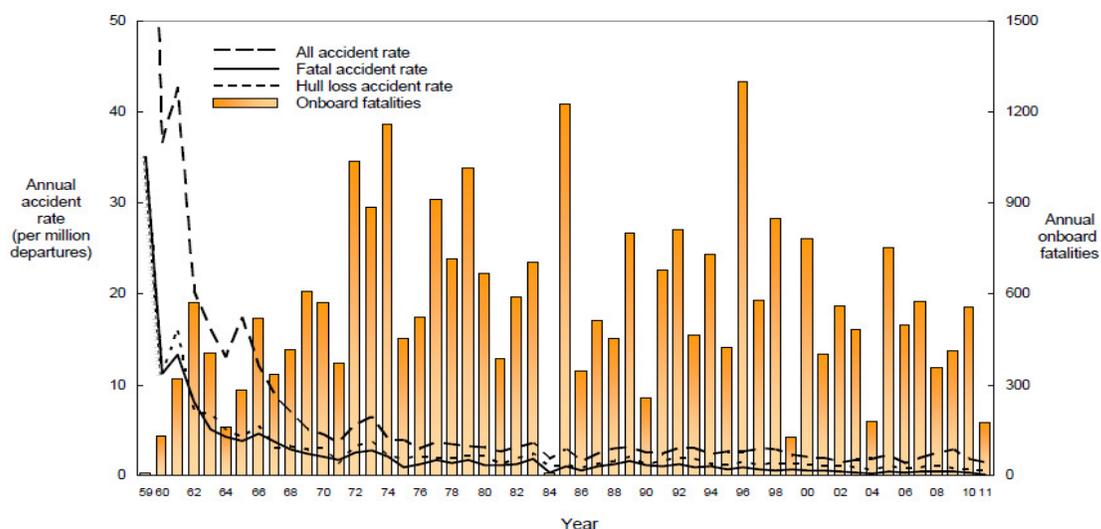
Está generalmente aceptado que el modo aéreo tiene unos bajos niveles de accidentalidad y que estos niveles disminuyen de manera continua, de forma que el número absoluto de víctimas en accidentes aéreos sigue decreciendo, pese al aumento de tráfico, tanto en número de pasajeros como de vuelos realizados.

La distribución geográfica de los accidentes es todavía relativamente distinta en las zonas más desarrolladas y en los países en vías de desarrollo. De acuerdo con las cifras de la Asociación de Transporte Aéreo internacional (IATA), en el año 2012 el transporte aéreo mundial sufrió un accidente por cada 5 millones de vuelos, mientras que en África la cifra fue de 1 cada 270.000 vuelos, una tasa de accidentalidad casi 20 veces superior. África, que realizó el 3% de todo el tráfico aéreo tuvo el 17% de los accidentes.

El sistema de seguridad aérea de la aviación comercial se basa en los principios de control continuo y transparencia en los resultados. Consta de siete elementos principales:

- **Diseño:**  
Todo avión civil precisa de una aprobación de su proyecto general, metodología empleada y cálculo realizado.
- **Fabricación:**  
Se realiza inspección y certificación de materiales y procesos de fabricación, además de inspecciones durante la construcción y el montaje de las aeronaves.

## Accident Rates and Onboard Fatalities by Year Worldwide Commercial Jet Fleet – 1959 Through 2011



**Figura 6.** Evolución de las tasas de accidentalidad y del número total de fallecidos en vuelos de reactores comerciales durante los últimos 50 años (Fuente: Boeing)

- **Certificación:**  
Los prototipos se someten a un riguroso programa de ensayos en tierra y vuelo para obtener la correspondiente certificación de tipo. Cada modelo individual entregado deberá obtener un certificado de aeronavegabilidad.
- **Mantenimiento:**  
Las aeronaves en servicio deben realizar las tareas de mantenimiento según procedimientos aprobados, en instalaciones certificadas, así como con una organización de mantenimiento igualmente certificada.
- **Operación:**  
Los tripulantes deben poseer licencias actualizadas periódicamente y adecuadas a sus funciones. La operación de la aeronave se rige igualmente por procedimientos aprobados e inspeccionados periódicamente.
- **Explotación:**  
La compañía operadora debe conseguir su correspondiente licencia (AOC), tras demostrar que tiene a su disposición todos los elementos necesarios para operar con seguridad.
- **Investigación de accidentes:**  
Todo accidente es investigado según procedimientos internacionalmente acordados y las conclusiones de la investigación son públicas, difundiéndose sus conclusiones y recomendaciones.

El sistema en su conjunto funciona muy bien, con inspecciones y certificaciones de índole nacional, reforzadas por la aplicación de una serie de estándares internacionales, como la normativa EASA en Europa o las auditorías de seguridad IOSA, promovidas por IATA. La difusión de los resultados de las investigaciones de accidentes e incidentes ayuda a evitar la repetición de los mismos.

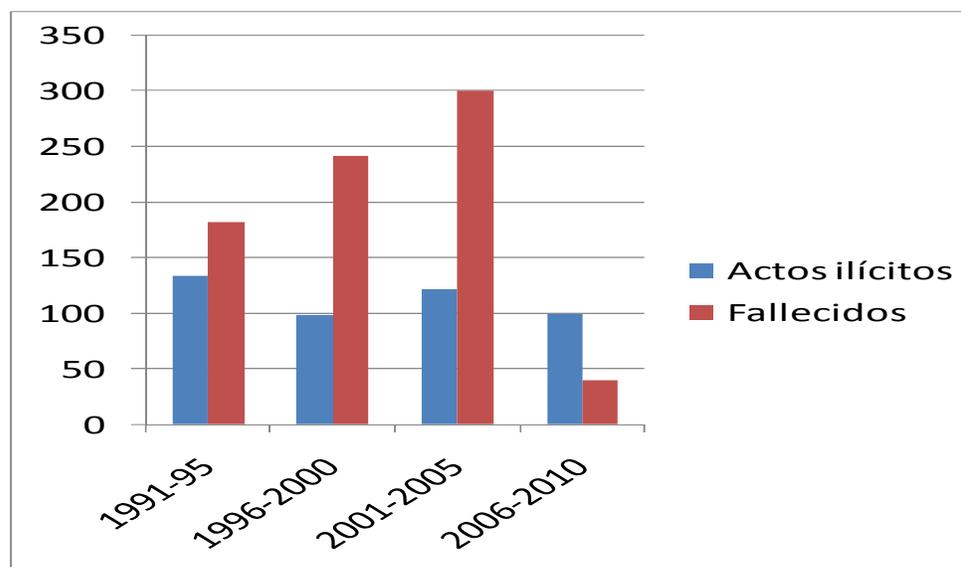
### 3.4. SEGURIDAD

Los sistemas de transporte deben prever las posibles amenazas provenientes del exterior y disponer los medios necesarios para anticiparse a sus acciones y evitar sus efectos más perniciosos. En algunos modos, como el transporte terrestre, resulta casi imposible evitar el acceso de cualquier persona a la infraestructura del transporte o a los vehículos y, por consiguiente, la actuación preventiva debe centrarse en la identidad de los posibles agresores y sus equipos.

En el transporte aéreo, en cambio, la actuación básica es el sistema de control de acceso. Los perímetros aeroportuarios se protegen de tal manera que sólo personal identificado y autorizado puede trabajar en ellos y antes de pasar a la zona de embarque, tripulantes, pasajeros y carga son sometidos a un proceso de detección de armas o sustancias potencialmente peligrosas para el vuelo del avión.

Esta concepción del modo de transporte como un sistema cerrado tiene el problema de exigir controles de la misma calidad en todos los puntos de acceso pues, tan pronto una persona ha sido admitida en el sistema, puede desplazarse fácilmente por su interior, donde el control es mucho menos exhaustivo. OACI mantiene un sistema estadístico para registrar la evolución de los ataques sufridos por la aviación comercial (**Figura 7**) pudiendo apreciarse que el número de actos ilícitos registrados permanece casi constante en unos veinte al año, mientras que el número de fallecidos a consecuencia de estos actos ha venido incrementándose hasta el quinquenio 2006-2010, durante el que han bajado drásticamente.

Tras los atentados del 11 de septiembre de 2001 se han adoptado algunas medidas de seguridad adicionales en el interior del sistema, como el blindaje de la puerta de cabina de pilotos, pero hasta el momento no se han apreciado resultados que justifiquen un cambio del concepto original de sistema cerrado.



**Figura 7.** Evolución del número de actos ilícitos contra la aviación comercial.  
(Fuente: Memorias de OACI)

### 3.5. MEDIO AMBIENTE

El transporte aéreo, como el resto de los modos de transporte, es un gran consumidor de energía y deja una considerable huella ambiental que, a diferencia de los otros modos, no solo tiene una afección

directa a la superficie del planeta, sino que se extiende hasta los límites superiores de la troposfera, en donde permanecen en la mayor parte de su vuelo los modernos reactores comerciales.

Por su alcance los efectos ambientales del transporte aéreo pueden clasificarse en locales y globales. En el primer grupo se encuentran los aspectos relacionados con la zona aeroportuaria, como el ruido, el deterioro de la calidad de aire local, el uso de suelo y la correspondiente alteración del medio natural. En el segundo grupo figuran el empleo de materias primas no renovables, como el petróleo y algunos metales como el titanio, el uso del espacio requerido por la navegación aérea y el ancho de banda radioeléctrico para las comunicaciones y la aportación al cambio climático.

Los efectos locales suponen una traba considerable al desarrollo de la infraestructura necesaria, dificultando la construcción y explotación de nuevas instalaciones. Aun así, los requisitos de certificación acústica y de emisiones de gases contaminantes que aviones y motores deben cumplir para entrar en servicio [10], han reducido mucho el impacto ambiental local, de manera que el número de personas afectadas por el ruido alrededor de los aeropuertos sigue disminuyendo pese al aumento del tráfico aéreo, lo que no impide que los aeropuertos implanten sus programas de protección acústica, que pueden incluir una combinación de reducción de ruido en la fuente, mejora de procedimientos operativos, políticas de uso de suelo y restricciones operativas a los aviones más ruidosos a lo largo o en períodos de particular interés como la noche.

Los efectos globales son más difíciles de controlar, en especial la aportación del transporte aéreo al cambio climático, que tiene como elemento principal las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

El CO<sub>2</sub> es un gas de efecto invernadero (colabora al calentamiento de la atmósfera) que se produce por la combustión del queroseno de aviación en razón de 3,16 kilogramos por cada kilogramo de queroseno consumido, siendo su producción directamente proporcional al consumo de combustible. Dado que la eficiencia energética del sistema de transporte aéreo mundial mejora en la actualidad a tasas anuales del 1,5 a 2% y el crecimiento del transporte aéreo se encuentra de media entre el 4 y el 5%, puede concluirse que cada año el peso del CO<sub>2</sub> arrojado por la aviación comercial aumenta entre el 2,5 y el 3% cada año.

Estas cifras en sí mismas no tienen que ser necesariamente incompatibles con la sostenibilidad, puesto que su efecto global depende de la actividad a la que esté ligado el transporte aéreo en cada caso, pero en un mundo en el que un gran número de sectores industriales están reduciendo en términos absolutos su huella de carbono, resulta cuando menos sorprendente que un sector tecnológicamente avanzado no pueda controlar sus emisiones de efecto invernadero. En estos momentos tales emisiones de la aviación suponen entre el 3,5 y el 4% de todo el efecto invernadero antropogénico (derivado de las actividades humanas).

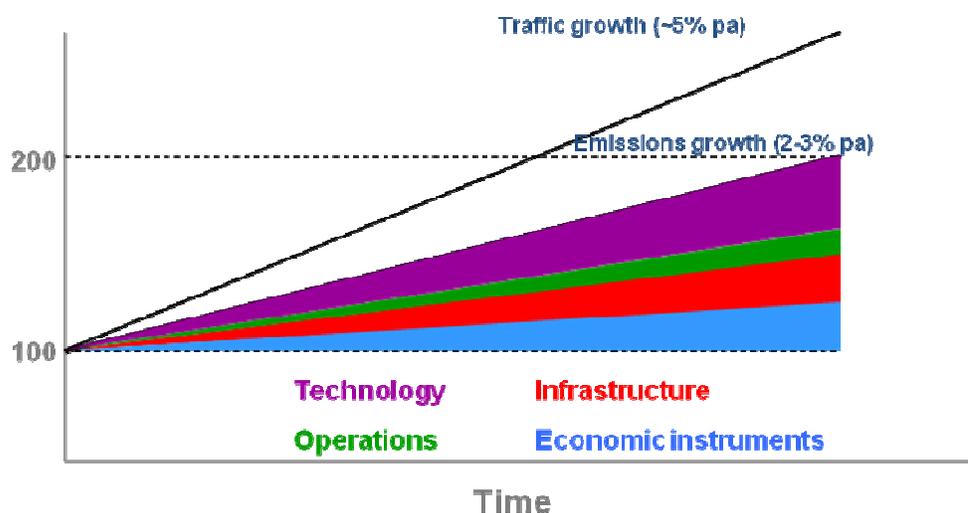
Los planes del sector para mitigar estos efectos se basan en cuatro tipos de acciones, conocidos como “la teoría de los cuatro pilares”, incluyendo la mayor eficiencia de aviones y motores, la mejora de los procedimientos operativos, el desarrollo de las infraestructuras, tanto los aeropuertos como el servicio de ayudas a la navegación y los denominados instrumentos de mercado, de los que el más famoso es el sistema de comercio de emisiones, ya en funcionamiento en la Unión Europea.

En su última Asamblea de septiembre de 2013 OACI aprobó un programa encaminado a conseguir mantener una mejora en la eficiencia energética del transporte aéreo mundial no menor del 2% anual hasta el año 2020, que podría continuar posteriormente. El objetivo sería conseguir que el sector no aumente en términos absolutos sus emisiones de CO<sub>2</sub> a partir del año 2020. Para ello ha puesto en marcha la preparación de un esquema de certificación del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> de las nuevas aeronaves, que entrará en vigor previsiblemente a partir del citado año y solicitado la implantación de un mecanismo de mercado global que permita recaudar dinero para proyectos ambientales que conlleven la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. IATA ha señalado unos

objetivos similares a los de OACI y la Unión Europea ha respaldado la idea de no crecer en emisiones a partir del 2020.

Asumiendo que el crecimiento del tráfico se mantiene alrededor del 5% anual, resulta evidente la existencia de un desfase entre la evolución actual de las emisiones y las políticas de reducción, representado de manera gráfica en la **Figura 8**. Una plena aplicación de los cuatro elementos antes detallados llevarían a mejoras del orden de los objetivos antes señalados, dejando un hueco de un 2-3% anual de crecimiento global de emisiones. Para rellenar ese espacio, se llevan ya varios años explorando el empleo de biocombustibles, que puedan sustituir parcialmente al keroseno, emitiendo menores cantidades de gases de efecto invernadero.

La idea es destilar un producto de similares características al queroseno de aviación y que sea, por tanto, miscible con él, a partir de especies vegetales, generalmente con frutos oleaginosos. Las emisiones de quemar este producto serían similares a las de la combustión del queroseno, pero mientras que éste se encuentra ya existente en forma de crudo petrolífero, el bioqueroseno se ha obtenido con el cultivo de plantas que, a lo largo de su crecimiento han absorbido CO<sub>2</sub> para su función clorofílica. Esto haría que, medido en ciclo de vida completo desde el cultivo hasta el empleo final como combustible de aviación, el bioqueroseno tuviera un balance neto de emisiones de CO<sub>2</sub> comparativamente favorable con el derivado del crudo petrolífero.



**Figura 8.** Diferencia a compensar con la introducción de los biocombustibles para obtener un crecimiento de tráfico sin aumento de la huella de carbono. (Fuente: OACI, Memoria de medio ambiente 2013)

La introducción de biocombustibles en aviación comercial se encuentra aún en una fase experimental, habiéndose efectuado un buen número de vuelos de prueba con mezcla de queroseno tradicional y bio, hasta una proporción del 50%, que es la certificada por las autoridades aeronáuticas en los motores actuales. Los resultados técnicos obtenidos han sido esperanzadores, sin ningún problema reseñable y existe ya una especificación preliminar de los límites de composición admisibles para esta clase de combustibles.

Las dificultades se presentan en el campo económico, puesto que el bioqueroseno es más caro que el queroseno convencional a los precios vigentes de crudo petrolífero, del orden de 110 USD el barril de *Brent*. Despejar la incógnita de si ulteriores subidas del precio del crudo y las disminuciones de costes inherentes a la producción en gran escala del bioqueroseno pueden equilibrar la balanza e inclinar a los consumidores a adoptar el nuevo producto, parece poco verosímil a corto plazo, por lo que serían necesarias políticas regulatorias y de incentivos por parte de las administraciones públicas para animarles a dar ese paso.

#### **4. PERSPECTIVAS FUTURAS**

En los próximos 10-20 años la situación general no parece vaya a cambiar de forma drástica. Todos los pronósticos económicos y de tráfico plantean escenarios de crecimiento mundial económico moderado (2,5 – 3% de media anual) y demanda de servicios aéreos creciente de manera superior a la de la economía (4,5% - 5%), con el turismo y los viajes familiares y de ocio aumentando más deprisa que los vuelos de negocios.

La aportación del transporte aéreo a la sostenibilidad del sistema seguirá creciendo en términos de accesibilidad física por el desarrollo de nuevas infraestructuras en países en desarrollo y el perfeccionamiento de las existentes en países avanzados, particularmente en el área de sistemas de navegación por satélite (GPS, GLONASS, Galileo). La accesibilidad económica seguirá desarrollándose con aumentos de productividad y mejora constante de precios.

Los sistemas de mejora de la accidentalidad y de la protección de ataques externos seguirán en la estructura hoy existente, incrementándose el empleo de inspecciones externas tipo IOSA y programas de colaboración técnica para disminuir las grandes diferencias existentes entre diferentes zonas del mundo.

En cuanto a medio ambiente, el foco de atención se concentrará en la mejora de la eficiencia energética del sistema y la reducción, por tanto, de las emisiones de CO<sub>2</sub>, empujado también por la creciente importancia de los costes de combustible, que superan ya el 30% de los costes totales de las compañías aéreas.

#### **5. CONCLUSIONES**

El transporte aéreo es un importante elemento en cualquier política de desarrollo sostenible porque colabora en un gran mayor escala que número de actividades económicas y sociales que, a medio plazo deben funcionar bajo una óptica de sostenibilidad.

Todas las previsiones consultadas mantienen que en los próximos veinte años el transporte aéreo seguirá creciendo en mayor proporción que la economía y que, en consecuencia, aumentará su aporte a la actividad colectiva.

Todos los elementos de sostenibilidad del transporte aéreo (accesibilidades física y económica, accidentalidad, seguridad) parecen adecuadamente encaminadas y con perspectivas de mejora a escala mundial, salvo el impacto ambiental, que constituye el gran problema a resolver en un futuro a medio plazo.

Dentro de este capítulo, el impacto sobre el cambio climático, tanto el absoluto como el relativo al de otras actividades, debe seguir aumentando. Con las condiciones actuales es sumamente improbable que en el año 2020 esté disponible una cantidad de combustible alternativo suficiente para conseguir el resultado perseguido por OACI y IATA de mantener constante la huella de carbono de la aviación comercial a partir del año 2020.

La única alternativa posible sería la imposición de medidas que restringieran el crecimiento del sector, bien base de encarecer los pasajes por un impuesto directo sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, o bien mediante la construcción de un sistema mundial de mecanismos de mercado que permitiera recaudar suficiente dinero para conseguir reducciones de emisiones en otros sectores en los que resulte más barato. El encarecimiento de los viajes reduciría a su vez la accesibilidad económica, restringiendo la aportación del transporte aéreo al desarrollo sostenible.

## REFERENCIAS

- [1] Hubbert, M. K., “Nuclear energy and the fossil fuels” Proceedings of the Spring meeting of the Southern District, American Petroleum Institute, San Antonio (Texas, USA), March 7-9, 1956
- [2] Brundtland, G. H., “Nuestro futuro en común”, Naciones Unidas, Nueva York (USA), marzo 1987
- [3] Club de Roma, “Los límites del crecimiento”, Fondo de Cultura Económica, México D.F., 1972
- [4] Club de Roma, “2052 a global forecast for the next forty years”, Chelsea Green, White River Junction, Vermont (USA), 2012
- [5] Benito, A. y Benito, E., “Descubrir el transporte aéreo y el medio ambiente”, AENA, Madrid, 2012
- [6] Stern, N., “Stern review on the economics of climate change”, HM Treasury, London, 2006
- [7] Zahavi, Y y Talvitien, A., “Regularities in travel time and money expenditures” *Transportation Research Board* n° 750, January 1980, pp. 13-19
- [8] United Nations Economic Commission for Europe, “Transport sustainable development in the ECE region”, United Nations, New York (USA), 2011
- [9] Air Transport Action Group, “Aviation benefits beyond borders”, ATAG, Geneva, 2012
- [10] Organización de Aviación Civil Internacional, “Anexo 16 al Convenio de Chicago”, OACI, Montreal, 2013