



**DEFINICIÓN DE INDICADORES Y MODELOS DE SOSTENIBILIDAD PARA EVALUAR
EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL TRANSPORTE AÉREO**

M^a Carmen Salvador Durántez

**Observatorio de la Sostenibilidad en
Aviación (SENASA)**



Índice

RESUMEN	3
ANTECEDENTES	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	5
METODOLOGÍA.....	5
RESULTADOS	7
CONCLUSIONES	24
AGRADECIMIENTOS.....	25
REFERENCIAS.....	26



RESUMEN

El crecimiento del transporte aéreo durante los últimos años ha provocado que los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero generados en este sector hayan aumentado considerablemente, afectando al medio ambiente. Las emisiones de CO₂ son la principal causa que provoca el calentamiento global y por consiguiente es necesario adoptar medidas para reducir al máximo el impacto en el medio ambiente.

El Observatorio de la Sostenibilidad en Aviación (OBSA), que surgió como una iniciativa de la empresa pública SENASA (Servicios y Estudios para la Navegación Aérea y la Seguridad Aeronáutica) tiene como objetivo ser el centro de referencia nacional para la recopilación, análisis y difusión de la información existente sobre la sostenibilidad de la aviación, considerando sus tres dimensiones: social, económica y ambiental.

En el OBSA estamos realizando una investigación para recopilar, seleccionar, aplicar y validar una batería de indicadores de sostenibilidad para evaluar el impacto medioambiental del transporte aéreo. En la actualidad no existe ningún observatorio o foro temático similar que recopile, proporcione información, y analice el comportamiento del sector de la aviación desde el punto de vista de su sostenibilidad.

Se ha seleccionado ya una batería de indicadores de una base de datos con cerca de 900 indicadores existentes (algunos de ellos repetidos) recopilados tras la consulta a diversas fuentes, entre las que se incluyen autoridades y organismos, aeropuertos, compañías aéreas y fabricantes.

Además estamos trabajando en la recopilación, selección, aplicación y validación de herramientas y modelos para calcular los indicadores y para la planificación de la reducción del impacto medioambiental del transporte aéreo. Finalmente se pondrá a disposición de los agentes implicados los indicadores y los modelos seleccionados.

ANTECEDENTES

EL OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN AVIACIÓN (OBSA):

El Observatorio de la Sostenibilidad en Aviación es una iniciativa independiente de la empresa pública SENASA (Servicios y Estudios para la Navegación Aérea y la Seguridad Aeronáutica), que colabora con agentes económicos y sociales del sector de la aviación. Está en funcionamiento desde marzo de 2007 y entre sus colaboradores se cuentan las principales Administraciones y agentes vinculados con el sector (más información en www.obsa.org)

El OBSA tiene como objetivo ser el centro de referencia nacional para la recopilación, elaboración, análisis, evaluación y difusión de la información existente sobre la

sostenibilidad de la aviación, considerando sus tres dimensiones: social, económica y ambiental.

Busca desarrollar herramientas de apoyo a los procesos de toma de decisiones tanto de los agentes reguladores (autoridades de transporte y medio ambiente, tanto de la Administración Central como de las Administraciones Locales y Autonómicas) como de los agentes del sector (compañías aéreas, aeropuertos, fabricantes, empresas de handling, etc.), proporcionando la mejor información técnica y científica disponible.

Pretende, además:

- Fomentar la participación pública en dichos procesos, a través de la difusión de dicha información, y del uso de **indicadores** contrastados.
- Estímular las **iniciativas en el sector** de la aviación que permitan su crecimiento de forma sostenible.
- Establecer un **foro de encuentro** entre los reguladores, industria y sociedad, y una plataforma de comunicación al servicio de estos agentes.

Para ello ha puesto en marcha un proyecto de investigación sobre indicadores y modelos eficaces de evaluación (proyecto DIATA: Definición de indicadores ambientales de transporte aéreo, subvencionado al 50% por el CDTI)

INTRODUCCIÓN

La preocupación medioambiental guía en la actualidad las principales estrategias globales y nacionales de aplicación al sector del transporte aéreo.

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.

La utilización de indicadores ambientales de múltiples tipos es un método cada vez más habitual para reflejar de forma sintética el estado de diversos factores ambientales, así como el grado de cumplimiento o de desviación con respecto a los objetivos de gestión ambiental de mejora de la sostenibilidad o de cumplimiento de la Legislación.

Los principales efectos ambientales de la aviación son el ruido y las emisiones de las aeronaves. Éstos pueden causar efectos locales sobre la calidad de vida (ruido y calidad del aire) en el entorno de los aeropuertos, así como efectos globales sobre el clima, ligados esencialmente a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y al consumo de recursos no renovables.

En consecuencia, la mayoría de los indicadores ambientales que se han localizado hacen referencia al ruido emitido por las aeronaves, los impactos sobre la calidad del aire, las

emisiones de GEI, así como al consumo de recursos no renovables.

El Observatorio de la Sostenibilidad en la Aviación (OBSA) como centro de referencia nacional para la recopilación, elaboración, análisis, evaluación y difusión de la información existente sobre la sostenibilidad de la aviación, requiere de unos indicadores que diagnostiquen la situación, así como de los modelos de simulación necesarios para calcular el impacto ambiental de la aviación.

OBJETIVOS

El objetivo de la investigación es reducir el impacto medioambiental de transporte aéreo en todas sus vertientes a través de:

- La recopilación, selección, aplicación y validación de una batería de indicadores que muestren los aspectos más críticos a tratar y permitan analizar las sinergias o disyuntivas entre metas.
- La recopilación, selección, aplicación y validación de las herramientas y modelos para la planificación de la reducción del impacto medioambiental del transporte aéreo.
- Puesta a disposición de los agentes implicados tanto de los indicadores como de los modelos y herramientas mencionados

METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se divide en las siguientes fases:

1. Localización de fuentes para obtener:
 - Una batería de indicadores respaldada y contrastada: En el sector del transporte aéreo ya se utilizan desde hace tiempo indicadores de impacto aéreo. En esta tarea se localizan las entidades que utilizan este tipo de mediciones relacionadas con el sector del transporte aéreo.
 - Las metodologías de catalogación: Diferentes organismos proponen metodologías que definen los indicadores. El fin de estas metodologías es el uso estructurado de los indicadores, de modo que se muestren indicadores que representen todos los ámbitos y desde todas las perspectivas, necesarios para definir la situación. En esta tarea se localizan estos organismos y sus metodologías.

- Los criterios de selección de indicadores: De manera análoga a las metodologías de catalogación, también se establecen criterios para definir la calidad y representatividad de los indicadores. Asimismo se localizan los organismos y los criterios de selección que establecen.
 - Una batería de herramientas y modelos que simulen los principales efectos ambientales de la aviación, como son el ruido y las emisiones de las aeronaves, para planificar la reducción del impacto medioambiental del transporte aéreo.
2. Almacenamiento de la información: En esta fase se diseñan las bases de datos necesarias para almacenar de forma catalogada y estructurada la información obtenida de las fuentes localizadas: tanto de indicadores como de modelos. Las bases de datos se diseñan de forma que permitan además de almacenar la información recopilada, realizar análisis cuantitativos y cálculos estadísticos.
 3. Selección de las metodologías de catalogación: En esta fase se seleccionan y aplican las metodologías de catalogación propuestas por los organismos más adecuadas para organizar los indicadores y modelos.
 4. Criterios de selección: En esta fase se escogen y aplican los criterios de selección de indicadores más adecuados de los propuestos por diferentes organismos y se escoge la batería de indicadores más conveniente.
 5. Análisis de los modelos recopilados para discriminar el más adecuado a las bases de datos de operaciones, aeropuertos y aeronaves españoles para realizar los cálculos de las emisiones del transporte aéreo.
 6. Resultados: Puesta a disposición de los agentes implicados tanto de los indicadores como de los modelos y herramientas seleccionados.

RESULTADOS

LOCALIZACIÓN DE FUENTES

1. Fuentes de indicadores:

Se han localizado las siguientes fuentes necesarias para obtener una batería de indicadores respaldada y contrastada:

- **Autoridades y Organismos** [1]

EUROCONTROL, EUROSTAT, EIONET, OACI, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), Organización de las Naciones Unidas (ONU), Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos, Junta de Andalucía, *Manchester Metropolitan University*, *European Environmental Strategy Committee (ACI)* y *Global Reporting Initiative (GRI)*, *Loughborough University*.

- **Aeropuertos** [2]

Boston-Logan International Airport, *Copenhagen Airports*, *Dallas/Tort Worth International Airport*, *Frankfurt Airport*, *Munich Airport International*, *Norwegian Airports (Avinor)*, *Brussels Airport*, *Aéroports de Paris*, *Amsterdam Airport Schiphol*, *Toronto Pearson International Airport*, *Vancouver International Airport* y *Heathrow Airport*.

- **Entidades gestoras de aeropuertos y/o navegación aérea** [3]

Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA), FINAVIA, Grupo LFV y UNIQUE.

- **Compañías aéreas** [4]

Air Europa, *Air Nostrum*, *Iberia*, *Spanair*, *Air France-KLM*, *Alitalia*, *British Airways* y *Easy Jet Airline*.

- **Fabricantes** [5]

Airbus, *Boeing*, *Bombardier* e ITP (Industria de Turbo Propulsores)

2. Fuentes de metodologías de catalogación:

- La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) [6]
- La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) [7]
- El Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE) [8]

3. Fuentes de Criterios de selección:

- La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) [6]
- La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) [7]
- El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) [9]
- El Proyecto DISTILLATE (*Design and Implementation Support for Integrated Local land Use, Transport and the Environment*): coordinado por el *Institute for Transport Studies (ITS)* en la Universidad de *Leeds*, el *Centre for Environment and Planning* en la Universidad del Oeste de Inglaterra, el *Centre for Transport Studies (CTS)* en la Escuela Universitaria de Londres, el *Stockholm Environment Institute (SEI)* y el Departamento de Matemáticas en la Universidad de York [10]
- EUROCONTROL [1]

4. Fuentes de Modelos:

- UPM. ETSI Aeronáuticos. Dpto Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos [11]
- *Federal Aviation Administration (FAA)* [12]
- EUROCONTROL [1]
- EIONET [1]
- OACI [1]
- *MCNC Environmental Modeling Centre (EMC)* [13]
- *Eurocontrol Experimental Centre (EEC)* [14]
- *Wyle Laboratories* [15]
- *Lissys Ltd* [16]
- *AERMIC American Meteorological Society (AMS)/United States Environmental Protection Agency (EPA) Regulatory Model Improvement Committee* [17]
- *Environmental Measurement and Modeling Division. Volve National Transportation Systems Center. University of Central Florida* [18]

- Cambridge Environmental Research Consultants (CERC) [19]
- National Centre for Atmospheric Research (NCAR); Pennsylvania State Univ. [20]
- United States Environmental Protection Agency (EPA). Atmospheric Science Modeling Division (AMAD) [21]
- Janicke Consulting [22]
- National Lucht en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) [23]

ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

1. Almacenamiento de los indicadores:

Tras la consulta a las fuentes de información se han recopilado y catalogado cerca de 900 indicadores en una base de datos (Access). Cada indicador recogido en esta base de datos se ha clasificado según sea absoluto o relativo (e.g. emisiones de CO₂ o emisiones de CO₂ por pasajero), el elemento medido (e.g. CO₂, combustible, agua, ruido, etc), información relativa a la entidad que lo utiliza, la metodología, el ámbito del sector al que se refiere el indicador, la serie temporal que cubre, etc.

El resultado de la ejecución de la base de datos es fundamentalmente un formulario a través del cual se introducen y consultan los indicadores y la información relacionada.

Un ejemplo de indicador básico obtenido de la Memoria de Responsabilidad Social Corporativa 2007-08 del grupo Air France- KLM se muestra a continuación.

INDICADORES

Indicador_ES
eficiencia energética

Indicador_EN
fuel efficiency

Absoluto	A_tipo_id	A_que_id	A_uds_id	R_tipo_id	R_que_id	R_uds_id
<input type="checkbox"/>	consumos	energía	l	productividad	pasajeros-km	PK

Inicio	Ultimo	Frecuencia	Metodologia	AMBITO	Pais
2000	2007		1 <input checked="" type="checkbox"/>	Todos	

Des_Metod

DPSIR	ABCD	Fuente	Metas	Comparables	Actualiza	<input type="checkbox"/> Socioeconómico
P		Air France-KLM holdin	<input type="checkbox"/>		02/12/2008	

Notas

La fuente es una memoria RSC del holding AirFrance-KLM, en algunos indicadores se especifica la fuente de los datos del indicador. Cuando se indica la diferencia se crea un registro para cada compañía, cuando no, la fuente es AirFrance-KLM Los dos últimos años indica (*Air France subsidiaries included)

Id_indicador:

Gráfica 1 Formulario con los campos de la tabla principal de la Base de Datos de Indicadores

2. Almacenamiento de los modelos:

Tras la consulta a las fuentes de información se han recopilado y catalogado cerca de 30 modelos en una base de datos (Access). De cada modelo se ha recogido información relativa al tipo (e.g. emisión/dispersión de contaminantes, ruido, meteorológico, económico), la Organización que lo elabora, si utiliza una metodología de cálculo concreta, los datos de entrada necesarios, las bases de datos internas que maneja, los datos de salida del modelo, etc.

El resultado de la ejecución de la base de datos es fundamentalmente un formulario a través del cual se introducen y consultan los modelos y la información relacionada con éstos.

A continuación se muestra un ejemplo del formulario con los datos del modelo MECETA: Modelo para el cálculo y simulación de emisiones de contaminantes del transporte aéreo español, de la UPM. ETSI Aeronáuticos. Dpto. Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos.

MODELOS	
Nombre del Modelo:	MECETA: Modelo para el cálculo y simulación de emisiones de contaminantes del transporte aéreo español
Descripcion_ES:	Descripcion_EN:
Modelo que permite el cálculo, a nivel agregado o desagregado, de las emisiones de los vuelos que llegan y salen en los aeropuertos españoles	Model which allows the calculation, added and non-added, of emissions of flights which arrive to and leave Spanish airports
Licencia: comercial	Idioma: Español
Region: España	Año: 2008
Fuente: UPM. ETSI Aeronáuticos. Dpto Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales	
Manuales (web):	Documento (Manual):
Tool <input type="checkbox"/> Si tool=SI indicar el paquete al que pertenece:	Vacío
Si el modelo aplica un método o una metodología indicar el nombre:	EMEP/CORINAIR (Detailed Methodol
Tipo de modelo: Emisiones	
Entradas:	Nivel agregado: número de vuelos y horas por tipo de avión.
Inputs <input checked="" type="checkbox"/> Si se requiere la entrada de datos de otras fuentes indicar cuáles:	Nivel medio de agregación: misma información por aeropuertos. Nivel desagregado: vuelo a vuelo
Salidas: Datos de salida del modelo:	Kg de CO2, CO, HC y NOx, divididos por vuelos domésticos, espacio de la Unión Europea y extracomunitarios. Combinaciones de estos datos con los de tráfico
Resultados en forma gráfica <input type="checkbox"/>	Resultados alfanuméricos (tablas, txt) <input checked="" type="checkbox"/>
	Modelo específico de transporte aéreo <input checked="" type="checkbox"/>
Bases de Datos internas:	Tráfico: vuelos de AENA. Distancias: ortodrómicas entre puntos de referencia de aeropuertos. Flota: pares avión/motor. Ciclo LTO: datos de OACI, corregidos por tiempo de rodaje y empuje de despegue para reactores, base de datos CAA sueca para turbohélices. Tiempos de rodaje: por aeropuertos, según datos de las compañías. Empuje de despegue reactores:
Comentarios:	Modelo que utiliza la metodología Corinair corregida con los tipos de avión/motor. Incluye un ejemplo desarrollado con todos los vl
Id_modelo:	1

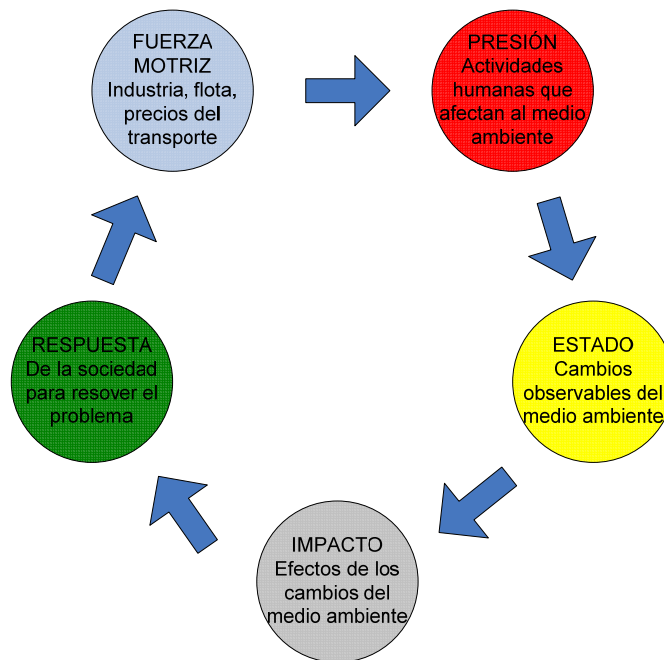
Gráfica 2 Formulario con los campos de la tabla principal de la Base de Datos de Modelos

CATALOGACIÓN DE INDICADORES Y MODELOS:

1. Catalogación de los indicadores:

Los indicadores se han catalogado según el modelo Fuerzas Motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR) propuesto por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA, 1998), y que es de gran utilidad en la descripción de los orígenes y consecuencias de los problemas ambientales.

El modelo FPEIR obedece a una lógica según la cual las **fuerzas motrices** son las impulsoras de los cambios medioambientales, las actividades humanas ejercen **presiones** sobre el entorno y los recursos ambientales y naturales, alterando, en mayor o menos medida, su **estado** inicial. Los indicadores de **impacto** muestran como queda afectado el medio ambiente por los cambios producidos. La sociedad en su conjunto identifica estas variaciones y puede decidir (objetivos de política) la adopción de medidas o **respuestas** que tratarían de corregir las tendencias negativas detectadas. Estas medidas se dirigen con carácter cautelar, contra los mismos mecanismos de presión, o bien, con carácter corrector, directamente sobre los factores afectados del medio. Como consecuencia de estas actuaciones se supone, o espera, una mejora del estado del medio ambiente.



Gráfica 3 Modelo Fuerza motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR)

Las fuerzas motrices o impulsoras de los cambios medioambientales son sectores económicos como: la industria, la energía, los transportes, la flota de vehículos, entre otros.

Los indicadores de presión describen, como su nombre indica, las presiones que ejercen las actividades humanas sobre el medio ambiente. Estos indicadores están estrechamente relacionados con los patrones de producción y consumo (e.g. consumos energéticos, usos del territorio, ruido, emisiones de GEI y otros contaminantes).

Los indicadores de estado informan de la calidad del medio ambiente y de la calidad y cantidad de recursos naturales. Estos indicadores han sido diseñados para informar de la situación del medio ambiente y de su desarrollo a lo largo del tiempo (e.g. concentración de contaminantes en el medio, descenso de la calidad del aire y cambio climático, exposición de la población al ruido).

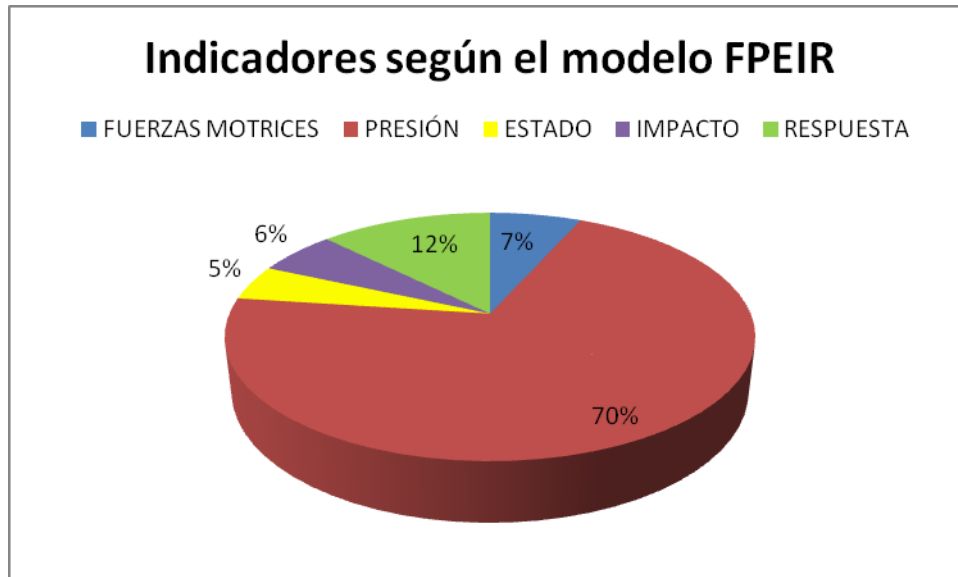
Los indicadores de impacto muestran como queda afectado el medio ambiente como consecuencia de las modificaciones de estado (e.g. congestión de tráfico, efectos en la salud).

Los indicadores de respuesta muestran cómo responde la sociedad a los problemas medioambientales. Se refieren a las acciones y reacciones, tanto individuales como colectivas (e.g. inversiones en infraestructuras, concienciación ciudadana, inversiones en I+D).

El número de indicadores ambientales que se ha obtenido de cada tipo, según el modelo FPEIR es el que a continuación se relaciona:

Tipo según modelo FPEIR	Número
Presiones	539
Respuesta	96
Fuerzas motrices	50
Impacto	44
Estado	35

Tabla 1 Número de indicadores según el modelo FPEIR



Gráfica 4 Indicadores según el modelo FPEIR

Aplicando la metodología de catalogación propuesta por la AEMA basada en el modelo Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta se ha observado que el mayor número de indicadores son los correspondientes a la “presión” que ejercen las actividades humanas sobre el medio ambiente.

2. Catalogación de los modelos:

Los modelos se han catalogado según sean de: emisión-dispersión de contaminantes, ruido, meteorológico y económico.

A continuación se muestran en una tabla los modelos principales clasificados por tipo y la fuente que los ha elaborado.

TIPO DE MODELO	NOMBRE	FUENTE
EMISIÓN	MECETA: Modelo para el cálculo y simulación de emisiones de contaminantes del transporte aéreo español	UPM. ETSI Aeronáuticos. Dpto Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos
	SAGE: <i>System for assessing Aviation's Global Emissions</i>	<i>Federal Aviation Administration (FAA)</i>

TIPO DE MODELO	NOMBRE	FUENTE
	AEM: <i>Advanced Emission Model</i>	EUROCONTROL
	FAST	UK Government
	<i>Carbon Emissions Calculator</i>	OACI
	SMOKE: <i>Sparse Matrix Operator Kernel Emissions</i>	MCNC Environmental Modeling Centre (EMC)
	CONTRAIL	<i>Eurocontrol Experimental Centre (EEC)</i>
	DICERNO	<i>Wyle Laboratories</i>
	EMITTRANS	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM)
	<i>Piano-X. Aircraft Emissions and Performance</i>	<i>Lissys Ltd</i>
DISPERSIÓN	AERMOD: <i>Atmospheric Dispersion Modeling System</i>	<i>American Meteorological Society (AMS)/United States Environmental Protection Agency (EPA) Regulatory Model Improvement Committee (AERMIC)</i>
	TRAQSIM: <i>Traffic Air Quality Simulation Model</i>	<i>Environmental Measurement and Modeling Division; Volpe National Transportation Systems Center. University of Central Florida Volpe National Transportation Systems Center</i>
	ADMS: <i>Atmospheric Dispersion Modeling System</i>	<i>Cambridge Environmental Research Consultants (CERC); UK Meteorological Office; National Power plc; University of Surrey</i>
	ADMS-Airport: <i>Atmospheric Dispersion Modeling System</i>	<i>Cambridge Environmental Research Consultants (CERC)</i>
EMISIÓN Y DISPERSIÓN	EDMS: <i>Emissions and Dispersion Modeling System</i>	<i>Federal Aviation Administration (FAA)</i>
	CMAQ: <i>Community Multiscale Air Quality Modeling System</i>	<i>U.S. EPA Atmospheric Science Modeling Division</i>
	LASPORT (LASAT for airports): <i>Lagrangian Simulation of Aerosol-Transport for Airports</i>	<i>Janicke Consulting</i>
	ALAQs: <i>Airport Local Air Quality Studies</i>	EUROCONTROL
RUIDO	STAPES: <i>System For Airport Noise Exposure Studies</i>	Comisión Europea; EUROCONTROL; EASA

TIPO DE MODELO	NOMBRE	FUENTE
	INM: <i>Integrated Noise Model</i>	<i>Federal Aviation Administration (FAA)</i>
	NOISEMAP	<i>Air Force Research Laboratory (AFRL/RHCB)</i>
	RNM: <i>Rotorcraft Noise Model</i>	<i>NASA-Langley Research Center; Wyle Laboratories</i>
	ACNIM: <i>Aircraft Community Noise Impact Model</i>	<i>Wyle Laboratories; Metron</i>
	MAGENTA: <i>Model for Assessing Global Exposure to the Noise of Transport Aircraft</i>	<i>Federal Aviation Administration (FAA)</i>
	AEM: <i>Area Equivalent Method</i>	<i>Federal Aviation Administration (FAA)</i>
METEOROLÓGICO	MM5: <i>Meteorological Model</i>	<i>National Centre for Atmospheric Research (NCAR); Pennsylvania State University</i>
EMISIÓN Y ECONÓMICO	AERO2k: <i>Aviation Emissions & Evaluation of Reduction Options</i>	<i>National Lucht en Ruimtevaartlaboratorium-NLR</i>
HERRAMIENTAS INTEGRADAS	APMT: <i>Aviation Environmental Portfolio Management Tool</i>	<i>Federal Aviation Administration (FAA)</i>
	AEDT: <i>Aviation Environmental Design Tool</i>	<i>Federal Aviation Administration (FAA)</i>

Tabla 2 Principales modelos recopilados

SELECCIÓN DE INDICADORES:

La **Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)** establece los siguientes criterios de selección a la hora de fijar una batería de indicadores representativa:

1. Relevancia política

Este criterio se basa en el grado de cumplimiento de los objetivos marcados en la Unión Europea.

2. Progreso hacia objetivos

Este criterio se basa en el cumplimiento de los objetivos tanto cuantitativos como cualitativos fijados a nivel político.

3. Disponibilidad y datos recogidos de forma rutinaria

Este criterio se basa en la obtención de los datos que se recogen de forma rutinaria, por estar comprometida su obtención mediante acuerdos (legales y no legales), ya que de esta manera se garantiza que su obtención es obligatoria.

4. y 5. Cobertura espacial y temporal

Estos criterios se basan en la cobertura real del dato, tanto espacial como temporal. Se tiende a escoger aquellos indicadores que tengan una mayor cobertura. La Agencia Europea de Medio Ambiente pretende incluir para el cálculo de sus indicadores a los 31 países miembros, a menos que el objetivo del indicador sea diferente (por ejemplo cuando los indicadores se basen en la implementación de las directivas por la EU-25).

6. Escala nacional y representatividad de los datos

La Agencia Europea de Medio Ambiente trabaja con varios países para alcanzar un común entendimiento respecto a las fuentes de datos utilizadas para calcular los indicadores y las metodologías necesarias.

7. Facilidad de comprensión

Este criterio se centra en la clara definición del indicador y en la propia valoración y presentación. No debería haber mensajes contradictorios y si esto ocurre, deberían de explicarse para evitar ambigüedades.

8. Metodológicamente bien fundamentados

Este criterio se puede cumplir si se expone claramente la metodología de cálculo o la fórmula de uso, con las apropiadas referencias científicas. Este criterio es más probable que se cumpla si un indicador similar con una metodología concreta también se está utilizando en otras iniciativas de indicadores a nivel internacional.

9. Asuntos políticos prioritarios en la Unión Europea

Este criterio se aplica para asegurar que la batería de indicadores cumple con las políticas y con el plan de gestión de la AEMA.

La **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)** establece los siguientes criterios de selección:

1. Relevancia

El primer criterio a tener en cuenta es la capacidad del indicador para representar la tendencia en la cual se está interesado, o lo que es lo mismo, su coherencia con la tendencia que debe representar según la definición y descripción del indicador.

2. Calidad

La calidad se refiere a aspectos tales como la fiabilidad y consistencia de las fuentes de datos, fiabilidad de la metodología de cálculo utilizada y si los resultados pueden ser validados (e.g. análisis de sensibilidad o confirmación a través de otros dato). El uso de estadísticas oficiales y de indicadores ya validados (nacional e internacionalmente) mejoran los valores de calidad.

Excepcionalmente la calidad también se refiere a la extensión y cobertura geográfica del dato, en otras palabras, el número de áreas consideradas en su cálculo, el uso de metodologías iguales o similares en dichas áreas cuando las estadísticas proceden de distintas fuentes y, en tal caso la fiabilidad de los datos procedentes de cada área.

3. Disponibilidad

La disponibilidad se refiere a la capacidad de obtener los datos necesarios para el cálculo del indicador a nivel nacional. En consecuencia, se refiere también al balance coste-efectividad, o lo que es lo mismo, los esfuerzos necesarios para su obtención. Aspectos tales como la dificultad de cálculo son también considerados en este criterio.

4. Cobertura temporal

Se refiere al carácter más o menos completo de la serie temporal disponible y la relevancia del nivel de desagregación de los datos disponibles. Para mejorar la comparabilidad, es deseable que los indicadores se apoyen en el uso de tendencias recientes. El concepto "reciente" debe sin embargo adaptarse a la propia naturaleza de cada indicador. Mientras que una serie de entre cinco y diez años puede resultar suficiente para un indicador de carácter dinámico (por ejemplo toneladas transportadas por kilómetro), indicadores menos dinámicos, o indicadores que se refieren a tendencias que deben evaluarse a medio-largo plazo, pueden requerir considerar series mayores. Sin embargo, el uso de series demasiado largas tampoco es adecuado para asegurar la coherencia y la consistencia de un análisis integrado del conjunto de indicadores. Para los indicadores "más lentos", un intervalo de entre 10-20 años podría ser razonable.

En resumen, la cobertura temporal implica la posibilidad de obtener series de datos consistentes (preferiblemente entre 5-15 años, siendo 10 años la referencia básica a la que adaptarse) y la consistencia de la metodología utilizada a lo largo del tiempo para obtener estos datos.

El proyecto **DISTILLATE: *Design and Implementation Support Tools for Integrated Local land Use, Transport and the Environment*** también habla de ocho aspectos fundamentales que tienen que cumplir los indicadores seleccionados, y éstos son, por orden de importancia los siguientes:

- A. Permitir el desarrollo de objetivos bien fundamentados
- B. Coste eficaz para analizar el dato
- C. Capaz de captar las mejoras de año en año
- D. Fácilmente medible
- E. Fácilmente comprensible por los políticos
- F. Fácilmente comprensible por el público en general
- G. Consistencia entre el transporte y los indicadores planificados
- H. Consistencia entre el transporte y los indicadores de sostenibilidad con la autoridad

En el proyecto también se mencionan unos **criterios** más **específicos** para seleccionar los indicadores orientados al transporte sostenible, que por orden de importancia son:

1. Elegir sólo aquellos indicadores que sean relevantes para el transporte para formar la base de datos inicial de indicadores.
2. Aquellos indicadores que son importantes para el transporte deben valorarse y se debe decidir si representan una salida de sostenibilidad.
3. Se realiza una valoración del ajuste del indicador de salida de acuerdo a los siguientes cinco criterios:
 - a. Claramente definido: Cuando un indicador no está claramente definido entonces es eliminado
 - b. Controlable: Cuando es probable que el indicador se vea influenciado por las decisiones políticas que afecten al transporte y por aquellas medidas controlables por la autoridad local/regional, entonces éste debe ser eliminado
 - c. Medible: Si un indicador no es medible se debe eliminar
 - d. Receptivo: Si un indicador no es probable que se adapte a los cambios políticos en el corto plazo entonces esto debería tenerse en cuenta
 - e. Fácilmente comprensible: Hay que examinar el indicador para asegurar que está presentando información de forma clara. Altos grados de fusión de información pueden reducir la comprensión de un indicador e incrementar el riesgo de ambigüedades

Cuando los marcadores de un indicador son positivos entonces se puede aceptar el indicador, y cuando existen dudas respecto al indicador entonces es mejor eliminarlo.

4. El conjunto de indicadores seleccionado debe ofrecer una gran cobertura espacial y temporal
5. Finalmente, los indicadores se deben examinar para que se adecuen a la escala para la que son apropiados (local, regional, nacional o un subconjunto de éste). Esto forma parte del proceso de filtrado para valorar el equilibrio en el conjunto de indicadores seleccionado.

Los criterios de selección de las tres Organizaciones mencionadas son en esencia muy similares entre sí. Aplicando todos los criterios a cada uno de los indicadores que conforman la base de datos se obtiene una posible batería de indicadores para medir la sostenibilidad en la aviación.

En la tabla siguiente se muestra además del indicador, su naturaleza y tipo, la fuente de datos de la que se puede extraer el dato o si es necesario utilizar un modelo para su cálculo.

NÚM.	NATURALEZA	NOMBRE INDICADOR	TIPO	FUENTE
1	Certificaciones	Proporción de aviones de la flota que cumplen los estándares de Certificación de ruido (Capítulo 2, Capítulo 3 o Capítulo 4) de OACI (Anexo 16)	R	Utilización de modelos
2	Certificaciones	Distribución de la flota de aviones en relación a las emisiones de NO _x según los márgenes que establece la OACI (Anexo 16)	R	Utilización de modelos
3	Consumos (tierra)	Consumo de agua en aeropuertos y Navegación Aérea, por año (m ³)	P	AENA
4	Consumos (tierra)	Consumo de energía en aeropuertos y Navegación Aérea, por año (GWh)	P	AENA
5	Consumos (aire)	Consumo de combustible, por año (tn)	P	Utilización de modelos
6	Desechos/basura	Desechos peligrosos en	P	AENA

NÚM.	NATURALEZA	NOMBRE INDICADOR	TIPO	FUENTE
		aeropuertos, por año (tn)		
7	Desechos/basura	Desechos no peligrosos en aeropuertos, por año (tn)	P	AENA
8	Calidad del aire	Calidad del aire en los aeropuertos (Niveles de CO, HCT, NO ₂ y SO ₂ (mg/m ³))	E	AENA (Informe anual)
9	Emisiones	Cambio Climático (Base Inventario Nacional), por año. Emisiones de CO ₂ , CO, NO _x , SO _x , HC, CH ₄ , N ₂ O y PM (tn)	P	AENA (Informes de Sostenibilidad Ambiental de los aeropuertos) MARM
10	Emisiones	Emisiones de los gases contaminantes en el ciclo LTO, por año. Emisiones de NO _x , NMVOC, SO _x y NH ₃ , en el ciclo LTO (tn)	P	EIONET
11	Indicadores relativos	Consumo de combustible del avión por pasajero y km (g/PK)	P	Utilización de modelos
12	Indicadores relativos	Emisiones de CO ₂ por pasajero y km (g/PK)	P	Utilización de modelos
13	Flota	Número de movimientos por año	FM	AENA, EUROSTAT, ESTADÍSTICAS DGAC
14	Flota	Número de pasajeros por año	FM	AENA, EUROSTAT, ESTADÍSTICAS DGAC
15	Impacto	Personas afectadas por ruido en los principales aeropuertos por año (>50.000 movimientos comerciales)	I	AENA (mapas estratégicos de ruido)

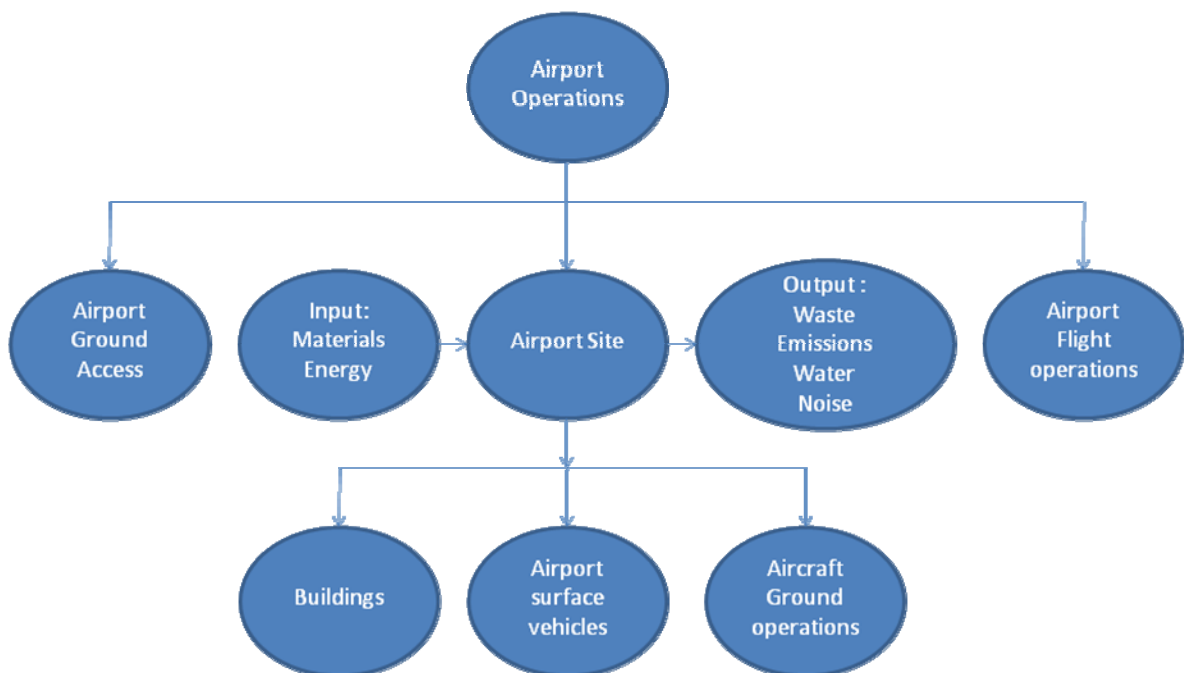
Tabla 3 Batería de indicadores de sostenibilidad en aviación

La batería incluye indicadores de todo tipo:

- Las Fuerzas motrices: son las impulsoras de los cambios medioambientales: Indicadores 13 y 14
- Los indicadores de presión: describen, como indica su nombre, las presiones que ejercen las actividades humanas sobre el medio ambiente: Indicadores 3-7, 9-12.

Los indicadores 3-7 muestran resultados numéricos de las actividades y procesos que tienen lugar en el aeropuerto, y por lo tanto son muy representativos de esta área:

A continuación se muestra un gráfico que resume las actividades en el aeropuerto. El aeropuerto se considera un lugar en el que se lleva a cabo un conjunto de procesos, que incluyen el movimiento de pasajeros, carga, catering, actividades de ingeniería, almacenaje de combustible y gestión. Cada uno de estos procesos necesita energía y materiales de entrada y a su vez genera desechos. En la gráfica se muestra el aeropuerto como el conjunto de tres sistemas: edificios y equipos, vehículos de tierra y las operaciones de tierra del avión. En este último se incluyen las operaciones de *handling*, mantenimiento y repostaje, sin embargo los movimientos de los taxis hacia y desde el aeropuerto se consideran parte de las operaciones de vuelo.



Gráfica 5 Operaciones en el aeropuerto (Fuente: Loughborough University. Paul Michael Grimley Thesis. July 2006. Indicators of sustainable development in civil aviation)

Los Indicadores 9-12 ofrecen medidas de las emisiones de gases contaminantes que se producen durante el vuelo.

- Los indicadores de estado informan de la calidad del medio ambiente y de la calidad y cantidad de recursos naturales. Estos indicadores han sido diseñados para informar de la situación del medio ambiente y de su desarrollo a lo largo del tiempo: Indicador 8.
- Los indicadores de impacto muestran como queda afectado el medio ambiente como consecuencia de las modificaciones de estado: Indicador 15
- Los indicadores de respuesta muestran cómo responde la sociedad a los problemas medioambientales. Se refieren a las acciones y reacciones, tanto individuales como colectivas: Indicadores 1 y 2.

ANÁLISIS DE LOS MODELOS:

Se han probado los modelos EDMS (*Emissions and Dispersion Modeling System*), desarrollado por la FAA y el modelo MECETA (Modelo para el cálculo y simulación de emisiones de contaminantes del transporte aéreo español), desarrollado por la ETSIA. UPM.

El modelo **EDMS: *Emissions and Dispersion Modeling System***: fue desarrollado en los 80 por la FAA como un modelo para microprocesador de fuente compleja diseñado para valorar los impactos de calidad del aire de los proyectos de desarrollo de aeropuertos.

El EDMS fue diseñado para valorar los impactos de la calidad del aire de las fuentes de emisión en los aeropuertos, particularmente de las fuentes siguientes:

- Aviones
- Unidades de potencia auxiliares (*Auxiliary power units*)
- Equipos de soporte de tierra (*Ground support equipment*)
- Vehículos de acceso a tierra (*Ground Access vehicles*)
- Fuentes estacionarias (*Stationary sources*)

El EDMS calcula las emisiones de los siguientes contaminantes: CO₂ (dióxido de carbono) para aviones sólo, CO (monóxido de carbono), THC (hidrocarburos totales) para aviones y APUs solamente, NMHC (hidrocarburos no metano), VOC (compuestos volátiles orgánicos), TOG (compuestos totales orgánicos), NO_x (óxidos de nitrógeno), SO_x (óxidos de azufre), PM₁₀ (materia particulada, 10 micras), PM_{2.5} (materia particulada, 2.5 micras), y 394 gases orgánicos especiales: 45 Contaminantes de aire peligrosos (HAPs) y 349 componentes no tóxicos.

Asimismo el modelo calcula la dispersión de los siguientes contaminantes: CO, THC, NMHC, VOC, TOG, NO_x, SO_x, PM_{2.5} y PM₁₀.

El modelo MECETA permite el cálculo, a nivel agregado o desagregado, de las emisiones de los vuelos que llegan y salen en los aeropuertos españoles. Calcula las emisiones del dióxido de carbono (efecto invernadero), monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno (calidad del aire local) en dos partes: ciclo LTO (por debajo de 3.000 pies sobre el aeropuerto en cuestión) y durante el resto del vuelo.

Las bases de datos que maneja el modelo son las de tráfico de AENA, utiliza las distancias ortodrómicas entre puntos de referencia de aeropuertos y pares avión/motor. Los datos del ciclo LTO son de OACI, corregidos por tiempo de rodaje. Para calcular las emisiones en crucero se utilizan los datos de Corinair, corregidos según tipos avión/motor.

Los datos de entrada se pueden introducir según distintos niveles de agregación: Nivel agregado: número de vuelos y horas bloque por tipo de avión. Nivel medio de agregación: misma información, por aeropuertos. Nivel desagregado: vuelo a vuelo

Los datos de salida son los kilogramos de CO₂, CO, HC y NON, divididos por vuelos domésticos, espacio de la Unión Europea y extracomunitarios.

CONCLUSIONES

En la tarea de búsqueda de las fuentes se han detectado algunas carencias, como por ejemplo las debidas a la escasez de memorias correspondientes al *handling* aeroportuario.

Para realizar la base de datos ha sido necesario analizar muy bien su diseño, ya que un buen esquema de la base simplifica las tareas posteriores y garantiza que la información que se recoge es útil para llevar a cabo un buen estudio.

Aplicando la metodología de catalogación propuesta por la AEMA basada en el modelo Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta se ha observado que el mayor número de indicadores son los correspondientes a la “presión” que ejercen las actividades humanas. En consecuencia los indicadores que más se utilizan en el sector y que se han localizado en mayor número en las memorias e informes consultados son los que se refieren al ruido, a las emisiones de GEI, fundamentalmente el CO₂, las emisiones de NO_x, el consumo de combustible, el consumo de agua y los desechos de residuos tanto peligrosos como no peligrosos.

Se ha investigado sobre la disponibilidad de la información “de entrada” necesaria para la obtención de cada indicador y para ello se han consultado las fuentes de datos existentes que ofrecen información de manera periódica sobre los indicadores ambientales de la sostenibilidad en la aviación.

Las principales fuentes de las que se ha extraído la información son: Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA), *Statistical Office of the European Communities* (Eurostat), el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, el Instituto Nacional de Estadística (INE), la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), la Red Europea de Información y Observación del Medio Ambiente (EIONET) y el Ministerio de Fomento.

A partir de la información obtenida se ha comprobado que existen indicadores para los que no es suficiente la información recopilada y que estas carencias han de solventarse con la utilización de modelos.

Se ha hecho una búsqueda de los modelos de emisión y dispersión de contaminantes y de los modelos de ruido existentes en el mercado. Se han recopilado más de 30 modelos en una base de datos y se han analizado sus características.

De cada modelo se ha almacenado información relativa al autor del modelo; la región para la que es válido, los derechos de propiedad y explotación, los datos de entrada que requiere, el tipo de salidas así como las bases de datos internas que maneja.

Se han probado los modelos EDMS (*Emissions and Dispersion Modeling System*), desarrollado por la FAA y el modelo MECETA (Modelo para el cálculo y simulación de emisiones de contaminantes del transporte aéreo español), desarrollado por la ETSIA. UPM.

Se ha comprobado que para trabajar con el modelo EDMS es necesario adaptar y migrar las bases de datos de las aeronaves, aeropuertos y operaciones correspondientes al tráfico aéreo español a las bases del modelo americano, lo cual entraña cierta dificultad.

La mejor opción es trabajar con el modelo MECETA ya que está especialmente diseñado para el transporte aéreo español.

La metodología de cálculo que utiliza el modelo MECETA es la EMEP/CORINAIR, desarrollada por el grupo *Task Force on Emission Inventories and Projections* (TFEIP) de la *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution* (CLRTAP) y que se desarrolla en tres niveles “*tier*” de estimación de emisiones, dependiendo de los datos de tráfico disponibles y del combustible consumido de que se disponga.

La elección de un nivel u otro de la metodología depende por un lado del nivel de desagregación de los datos de que se disponga y de la importancia que la fuente de emisiones del sector aéreo tenga respecto del resto de las fuentes. Cuanto mayor sea el porcentaje de emisiones correspondientes al sector aéreo respecto del inventario de emisiones de todas las fuentes; se recomienda emplear metodologías de mayor nivel como tier 2 o 3.

El MECETA utiliza la metodología *Tier 3* (nivel 3) descrita en EMEP-CORINAIR 2009, ya que dispone un nivel suficiente de desagregación de los datos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) por la concesión de una subvención, dentro del marco de los proyectos del Subprograma Aeroespacial (SAE), para un proyecto de Definición de indicadores del impacto ambiental del transporte aéreo para su reducción. Gracias a dicha subvención ha sido posible realizar la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] 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)*
- EUROSTAT. *Energy, transport and environment indicators. 2004 Edition. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004; Energy, transport and environment indicators. 2008 Edition. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008*
- EIONET. <http://www.eionet.europa.eu/>
- OACI <http://www.icao.int/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM). *Perfil Ambiental de España 2006*
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). <http://unstats.un.org/unsd/default.htm>
- Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos. *Propuesta de indicadores para la sostenibilidad de las infraestructuras*
- Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. *Indicadores de sostenibilidad y medio ambiente: métodos y escala*
- Manchester Metropolitan University. Department of Environmental & Geographical Sciences. *The Concept of Airport Environmental Capacity, October 2002*
- Loughborough University. Paul Michael Grimley Thesis. July 2006. *Indicators of sustainable development in civil aviation*
- [2] Boston-Logan International Airport. *Environmental Data Report*
- Copenhagen Airports. *Environmental Report 2007*
- Dallas/Fort Worth International Airport. *Strategic plan*
- Frankfurt Airport. *Sustainability Report 2007 (Fraport)*
- Munich Airport International. *Environmental Statement 2005*
- Norwegian Airports (Avinor). *Annual Report 2006*
- Brussels Airport. *Environmental programme 2006*
- Aéroports de Paris. *Report on activities 2006 and sustainable growth; Annual Report on Activities and Sustainable Development 2005 y Rapport environnement et citoyenneté 2007*
- Amsterdam Airport Schiphol. *Corporate Responsibility in 2007 at Amsterdam Airport Schiphol*

- Toronto Pearson International Airport. *Environmental performance Report 2006 y Toronto Master Plan*
- Vancouver International Airport. *2007 Environmental Performance Summary Table; Vancouver Airport Authority Environmental Management Plan y 2007 Sustainability Report*
- Heathrow Airport. *Heathrow and climate change y Heathrow. Global Environment*
- [3] Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA). *Memoria de Responsabilidad Social Corporativa 2007*
- Finavia. *Finavia And the Environment 2007*
- Grupo LfV. *The LfV Group environmental data report 2006*
- Unique. *Aircraft APU Emissions at Zurich Airport; Aircraft Ground Handling Emissions at Zurich Airport. Methodology and Emission Factors; Engine Thrust Reverser Emissions at Zurich Airport y Zurich 2007 Environmental Report*
- [4] Air Europa. *Memoria social corporativa 2007*
- Air Nostrum. *Política medioambiental y Sistema de gestión medioambiental*
- Iberia. *Memoria de responsabilidad corporativa 2007*
- Spanair. *Descripción de la política ambiental y compensación de CO₂*
- Air France-KLM. *Corporate Social Responsibility Report, 2006-07; Corporate Social Responsibility Report, 2007-08 y Towards Smart Leadership. KLM Annual Review, 07-08*
- Alitalia. *Informe anual 2007*
- British Airways. *Annual Report 2007-2008, Corporate Responsibility Report 2007-2008; Environmental Overview 2006-2007*; así como la información web sobre la política de BA sobre emisiones, residuos, ruido, calidad del aire, prácticas laborales, bienestar del cliente y comunidad.
- [5] Airbus. *Flying by nature. Global market forecast. 2007-2026*
- Boeing. *Informe medioambiental 2008*
- Bombardier. *Corporate Responsibility Roadmap*
- Industria de Turbo Propulsores (ITP). *Declaración ambiental. ITP 2007*
- [6] Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). *EEA Core Set of Indicators Guide. EEA Technical Report No1/2005. ISSN 1725-2237. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*

- [7] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). *OECD Key Environmental indicators 2008*. OECD Environment Directorate. Paris, France
- [8] Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE). *Sistema de Indicadores de Seguimiento del Transporte y su Impacto Ambiental SISTIA 2008*
- [9] Centro de estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Plan estratégico de infraestructuras y transporte, Documento propuesta, Diciembre 2004
- [10] Greg Marsden, et.al. "Deliverable C1. Sustainable Transport Indicators: Selection and Use". En: *DISTILLATE. Improved Indicators for Sustainable Transport and Planning*. Versión 9. 15 de Diciembre de 2005
- [11] Informe final. Desarrollo de un modelo para la cuantificación de las emisiones originadas por el transporte aéreo español. A. Benito, S. Pintado, N. Van Oosten. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Aeronáuticos. Mayo de 2008
- [12] *SAGE Version 1.5 Technical Manual. Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy*. FAA-EE-2005-01
- [13] <http://www.smoke-model.org/index.cfm>
- [14] *Eurocontrol Experimental Centre. ATM Contrail Mitigation Options Environmental Study EEC/SEE/2005/015*
- [15] <http://www.wylelabs.com>
- [16] <http://www.lissys.demon.co.uk/PianoX.html>
- [17] EPA. *United States Environmental Protection Agency. AERMOD: Description of Model Formulation*
- [18] *Development of the Traffic Air Quality Simulation Model (TRAQSIM). Environmental Measurement and Modeling Division Volpe National Transportation Systems Center*
- [19] <http://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-model/options.html>
- [20] <http://www.mmm.ucar.edu/mm5>
- [21] *CMAQ v4.6 Operational Guidance Document*
- [22] *Janicke Consulting Environmental Physics. LASPORT. A program system for the calculation of airport-related pollutant emissions and concentrations in the lower atmosphere*
- [22] *Aviation Emissions and Evaluation of Reduction Options (AERO) Main Report Part I: Description of the AERO Modeling System December 2000*