

**NECESIDAD DE UN CAMBIO SOCIAL:  
EL CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO DE KIOTO POR EL  
SECTOR AÉREO.  
ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS  
APROXIMACIONES VERDES (RETA-CDA)<sup>1</sup>**

**Juan Padilla Fernández-Vega<sup>2</sup>**

**Rafael Moreno Izquierdo<sup>3</sup>**

**Manuel Simón Solano<sup>4</sup>**

---

*Fecha de publicación: 01/04/2014*

**SUMARIO:** I. Introducción. II. Antecedentes. III. Toma de datos. IV. Análisis de los vuelos (materiales). V. Conclusiones. VI. Bibliografía.

**Resumen:**

Este estudio pretende, en primer lugar, comprobar que las compañías aéreas están realizando un esfuerzo para poder adaptarse al Protocolo de Kioto y, en segundo lugar, que ellas son también las más interesadas en conseguir un ahorro en sus cuentas de resultados ya que el combustible en la actualidad supone aproximadamente un 75% de sus gastos de operación. El área donde se ha realizado el estudio es el aeropuerto de Madrid-Barajas y el modelo de aeronave implicada es el Airbus A-340/600 de la flota de Iberia. Las variables utilizadas son variables numéricas, y pertenecen a un subconjunto de vuelos

---

<sup>1</sup> (RETA-CDA): Reduction of Emissions in Terminal Aereas using Continuous Descent Approach.

<sup>2</sup> Decano Facultad de Ciencias Jurídicas y Económicas de la Universidad Camilo José Cela, de Madrid.

<sup>3</sup> Profesor Titular interino Universidad Complutense de Madrid | Doctor en Ciencias Políticas y Sociología por la Universidad Complutense, de Madrid.

<sup>4</sup> Ingeniero y comandante piloto de Airbus A340/330 en la compañía Iberia.

determinados, someteremos los datos a las prueba de Kolmogorov-Smirnov, para encontrar diferencias significativas asociadas a las diferentes intervenciones utilizaremos la t-Student.

**PALABRAS CLAVE:** Protocolo de Kioto, Protocolo de Montreal, Convenio de Chicago, cambio climática, emisiones de CO<sub>2</sub>.

## I. INTRODUCCIÓN

Hacia finales de 1950, el explosivo crecimiento industrial en el mundo, la Guerra Fría, una imprevista derivación de los ensayos nucleares en el atolón de Bikini y un crucial descubrimiento de Revelle acerca de las limitaciones de los océanos para absorber productos químicos, lleva a Keeling a realizar a partir de 1958 las primeras mediciones precisas de CO<sub>2</sub> en busca de valores de base para evaluar su comportamiento futuro (Keeling, 1978)<sup>5</sup>.

En 1960, Keeling comprobó que a partir de niveles de 315 ppm existe una tendencia creciente de concentración media de CO<sub>2</sub>, en 1976 tras sobrevivir la investigación al desinterés inicial, a las limitaciones presupuestarias y hasta a un cierto rechazo a Keeling, resulta inequívoco y aceptado el fenómeno, lo cual adquiere un nuevo significado al asociarlo a un posible calentamiento global.

Pero el proceso político y social no comienza hasta una reunión celebrada en Estocolmo, Suecia, del 5 al 16 de junio de 1972 en la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano (CNUMAH). Sin embargo no es hasta 1979, en el transcurso de la primera conferencia mundial sobre el clima convocada por la Organización Meteorológica Mundial, (OMM), celebrada en Ginebra, donde realmente se empieza a tomar conciencia de las causas naturales y artificiales de un posible cambio climático y se empieza a plantear el problema del calentamiento global y de cómo este podría afectar a las actividades humanas. Dentro de la Organización de Naciones Unidas en diciembre de 1983 Javier Pérez de Cuellar consulta al primer ministro de Noruega, Gro Harlem Brundtland, sobre la posibilidad de crear una organización que no dependiera de la ONU, para desarrollar y resolver problemas sobre el medio ambiente. Esta organización es la denominada Comisión Mundial

---

<sup>5</sup> The Influence of Mauna Loa Observatory on the Development of Atmospheric CO<sub>2</sub> Research

sobre Medio Ambiente y Desarrollo (WCED), más conocida como Comisión Brundtland, (A/RES/38/161), esta comisión redacta su primer informe en 1987 (Brundtland, 1987), en 1988, se constituye el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climática (IPCC).

Uno de los tratados Internacionales que merece especial atención es el Protocolo de Montreal<sup>6</sup> que se ratificó el 1 de enero de 1989, por los representantes de 29 países y la totalidad de la Comunidad Europea, en la actualidad esta ratificado por la práctica totalidad de los países pertenecientes a las Naciones Unidas(A/RES/45/212). La Conferencia de las partes (COP)<sup>7</sup> se reúne todos los años desde 1995la primera fue en Berlín y la última la XIX Conferencia sobre Cambio Climático se celebró en Varsovia en 2013.

Uno de los puntos donde se inicia una inflexión en el proceso sobre el estudio del cambio climático, es cuando los servicios económicos del Gobierno Británico, encargan al centro un estudio sobre el cambio climático y publica un informe en 2006 que se conoce como informe Stern: *El cambio climático es un reto único para la economía, es la falla del mercado más impresionante que se ha registrado* (Stern, 2006).

El protocolo conocido como “Protocolo de Kioto” es un acuerdo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), firmado por los gobiernos en la Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático celebrado en la ciudad japonesa de Kioto el 11 de diciembre de 1997, y en el que los firmantes se comprometían a reducir o limitar las emisiones de seis gases contaminantes que pueden ser los causantes del efecto invernadero que podrían ocasionar el calentamiento global: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), entre los años 2008 y 2012 en un 5,2%, tomando como referencia los niveles de 1990, el protocolo entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

La Decisión 2002/358/CE del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre

---

<sup>6</sup> Es un tratado internacional diseñado para proteger la capa de ozono. La primera reunión de las partes se celebró en Helsinki en mayo de 1989.

<sup>7</sup> La Conferencia de las Partes (COP) es el órgano supremo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). De la misma manera, la COP en calidad de reunión de las Partes del Protocolo de Kioto (CMP) es el órgano supremo de dicho instrumento.

el Cambio Climático, y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo. Por lo que queda aprobado, en nombre de la Comunidad Europea, el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La Unión Europea está dispuesta a recuperar el liderazgo internacional en la lucha contra el cambio climático y dar ejemplo formalizando su apoyo a un segundo Kioto, pero exige a sus socios que muestren también su compromiso. Los veintisiete persiguen que “Kioto II” comience a funcionar a principios de 2013 con una vigencia de ocho años, hasta 2020, de modo que se cree un puente hasta la entrada en vigor del perseguido acuerdo global sobre El Protocolo de Kioto, aprobado en nombre de la Comunidad Europea mediante la Decisión 2002/358/CE del Consejo (DO L130 de 15.5.2002, p 1) requiere que los países desarrollados procuren limitar o reducir las emisiones GEI no controladas por el Protocolo de Montreal, generadas por los combustibles del transporte aéreo, trabajando a través de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Aunque la Comunidad Europea no es parte contratante en el Convenio relativo a la aviación civil internacional de Chicago de 1994 “Convenio de Chicago” el cambio climático de carácter vinculante.

En su comunicado de 27 de septiembre de 2005 el Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones “Reducción del impacto de la aviación sobre el cambio climático” en su introducción dice: *El transporte aéreo se ha convertido en una parte integrante de la sociedad del siglo XXI que permite que tanto los pasajeros como las mercancías puedan abarcar grandes distancias a velocidades sin precedentes. Sin embargo, la aviación también contribuye al cambio climático.*

*Aunque la eficacia en el consumo de combustible de los aviones ha aumentado más del 70 % durante los últimos 40 años, la cantidad total de combustible consumido ha aumentado debido al crecimiento incluso mayor en el tráfico aéreo. Como consecuencia, el impacto de la aviación en el clima está aumentando: mientras que las emisiones totales de la UE controladas de acuerdo con el protocolo de Kioto se redujeron un 5,5 % (-287 MtCO<sub>2e</sub>) entre 1990 y 2003[1], sus emisiones de gas de efecto invernadero correspondientes a la aviación internacional aumentaron un 73 % (+47 MtCO<sub>2e</sub>), lo que equivale a un crecimiento anual del 4,3 %.*

*Aunque la participación de la aviación en las emisiones globales de gases de efecto invernadero es aún modesta (alrededor del 3 %), su rápido crecimiento socava los avances logrados en otros sectores. De mantenerse el actual crecimiento, las emisiones de los vuelos internacionales que*

*despegan de aeropuertos de la UE en 2012 representarán un aumento del 150 % respecto a las de 1990. Este crecimiento de las emisiones de la aviación internacional de la UE neutralizaría más de la cuarta parte de las reducciones a que obliga el compromiso adquirido por la Comunidad en el Protocolo de Kioto. Y a más largo plazo, de continuar las tendencias actuales, las emisiones de la aviación se convertirán en un importante contribuyente a las emisiones (COM/2005/459 final)<sup>8</sup>.*

## II. ANTECEDENTES

El transporte aéreo es un elemento esencial en la economía de un país, y es de vital importancia en la economía española, el número de pasajeros transportados en nuestro país está en aumento cada día, pero nos hallamos en una paradoja, entre una sociedad que demanda mayor calidad de vida y simultáneamente quiere soportar cada vez menos sus costes negativos, como es el deterioro del medio ambiente.

La fuerte demanda de transporte aéreo tanto a nivel nacional como mundial, hace que se tengan que dar respuestas, a un sistema de transporte moderno que debe ser sostenible desde el punto de vista económico, social y medio ambiental.

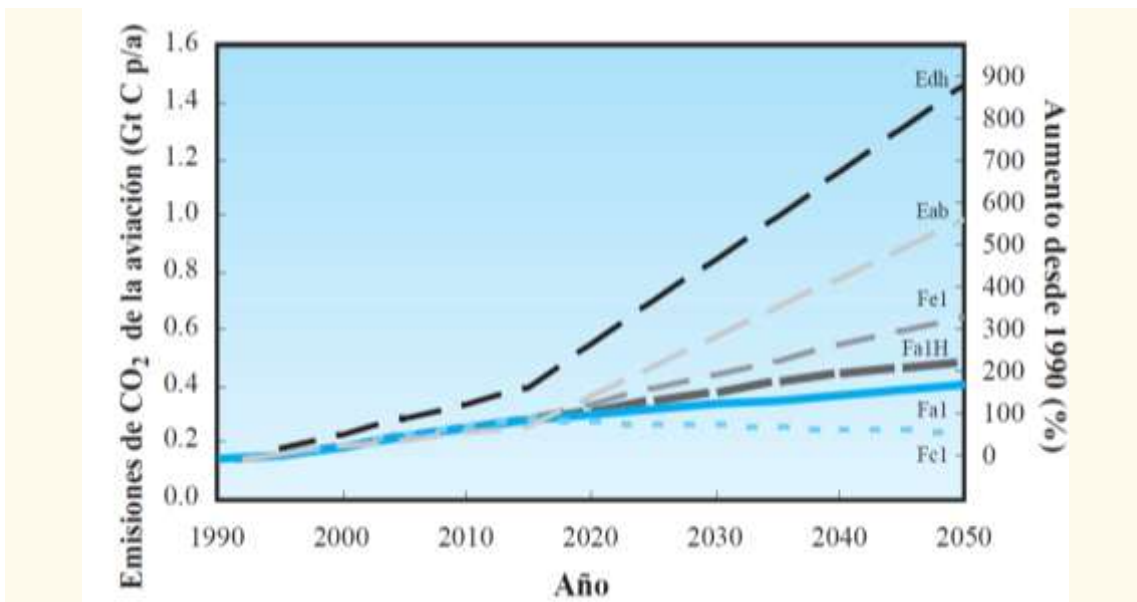


Gráfico 1, Emisiones de CO2 de la Aviación, (Fuentes: IPCC 2007)

Las emisiones de dióxido de carbono de las aeronaves fueron de 0,14 Gt C/año en 1992. Esto es alrededor del 2% del total de las antropógenas de dióxido de carbono en 1992 o un 13% de las emisiones de dióxido de carbono de todas las fuentes de transporte ver gráfico1. En la serie de

<sup>8</sup> Reducir el Impacto del Cambio Climático de la aviación.

escenarios que se consideran las proyecciones indican que las emisiones de dióxido de carbono de las aeronaves continuarán aumentando y que en 2050 serán de 0,23 a 1,45 Gt C/año (IPCC, 2007)<sup>9</sup>.

Si bien es cierto que el sector aéreo comercial representa un porcentaje mínimo en cuestiones de emisiones de CO<sub>2</sub>, ver gráfico 2, de igual manera aplicando nuevas estrategias se podría beneficiar en algo a la naturaleza.

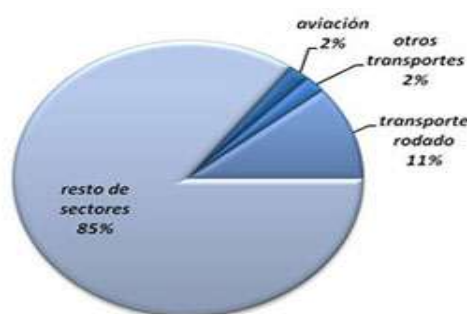


Gráfico 2 Contribución del transporte aéreo a las Emisiones globales de CO<sub>2</sub>. (Fuente AENA 27/01/2009)

La Comisión Europea propuso incluir a la aviación civil en el sistema comunitario de comercio de emisiones de CO<sub>2</sub> para que este sector contribuya también a la lucha contra el cambio climático. Ello significa que se fijará un tope de permisos de contaminación a las aerolíneas basado en el promedio de emisiones entre 2004 y 2006, y las que lo superen tendrán que comprar derechos suplementarios en el mercado. Esta iniciativa podría encarecer el precio de los billetes de ida y vuelta hasta 40 euros, según el estudio de impacto realizado por Bruselas.

Según la Agencia Europea del Medio Ambiente, las emisiones contaminantes de la aviación han crecido un 85% entre 1994 y 2004. El Panel Internacional de Expertos en Cambio Climático (IPCC), estima que el sector podría ser el causante del 15% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero a mediados de siglo.

Por ello, es importante mejorar aspectos como la eficiencia en el diseño de las rutas de entrada de los aviones (PRNAV -CD) para evitar al máximo la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (Plan RETA-CDA). La modelización requiere información procedente del trabajo de campo, que desarrolladas dentro del paraguas del programa (RETA-CDA) bajo esta iniciativa, la aerolínea (Iberia), los proveedores de

---

<sup>9</sup> Informe especial del IPCC sobre la aviación y la atmosfera global, 2007

servicios de navegación (INECO), la industria de fabricantes de aviones y los aeropuertos a través de la tecnología presente en los aviones están colaborando para desarrollar y validar soluciones en el campo de la reducción de emisiones de los (GEI).

El desarrollo de este trabajo se planifica en tres fases:

- Toma de datos procedentes de los vuelos en aproximación CDA
- Analizar los vuelos que utilizan estas aproximaciones en comparación con los otros en términos de consumo de combustible y tiempo de vuelo (Eficiencia del vuelo).
- Conclusiones del sistema de aproximación –CDA

### III. TOMA DE DATOS

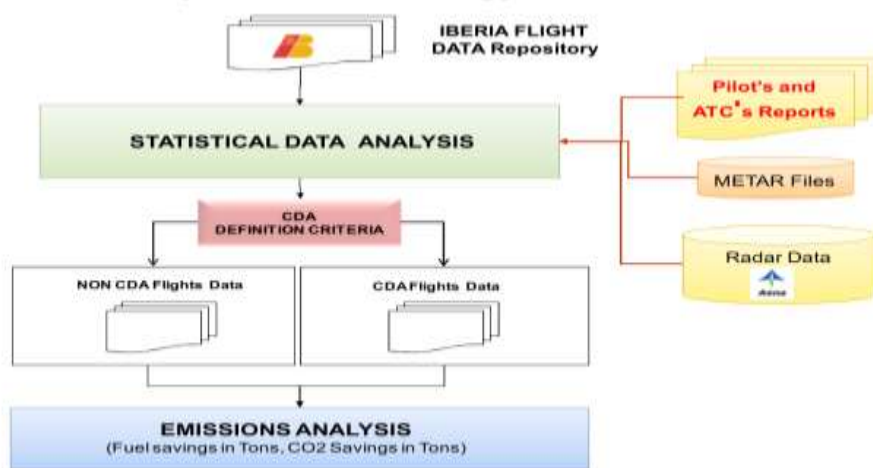


Gráfico 3, Metodología en el análisis de los datos, (Fuente: propia)

En el gráfico 3 se puede ver el esquema seguido desde el momento de la toma de los datos hasta su análisis final.

A los pilotos a través de la nota informativa de régimen interno de la compañía Iberia, N°/06/2011/SF, se les notifica el programa Reduction of Emissions in Terminal Areas using Continuous Descent Approach (RETA-CDA), aproximaciones con descenso continuo en el área de terminal de control (TMA) del aeropuerto de Madrid-Barajas, se les proporciona toda la documentación necesaria, se les solicita su colaboración en el estudio y su aportación profesional, así como una vez finalizado el vuelo los pilotos rellenan un informe por si hubiera ocurrido algún incidente reseñable durante el proceso de aproximación, este informe entre otras cosas tiene dos importantes cuestiones, una es relativa a si ha sido autorizada por el control de tránsito aéreo (ATC) la aproximación en descenso continuo (CDA) y la segunda si esta aproximación a sido satisfactoria.

Los controladores implicados en este trabajo son los controladores de aproximación (APP), y que en algunos casos por el horario en el que se han realizado los vuelos también hacían funciones de controlador de torre (TWR).

El total de vuelos analizados en el estudio fue de 273, de los cuales 111 se consideraron como vuelos que cumplieron los requisitos y 162 no cumplieron con las premisas RETA-CDA. A pesar que este número de vuelos ha sido inferior al planificado inicialmente, se consideran suficientes para el estudio estadístico del proyecto, ver gráfico 4.

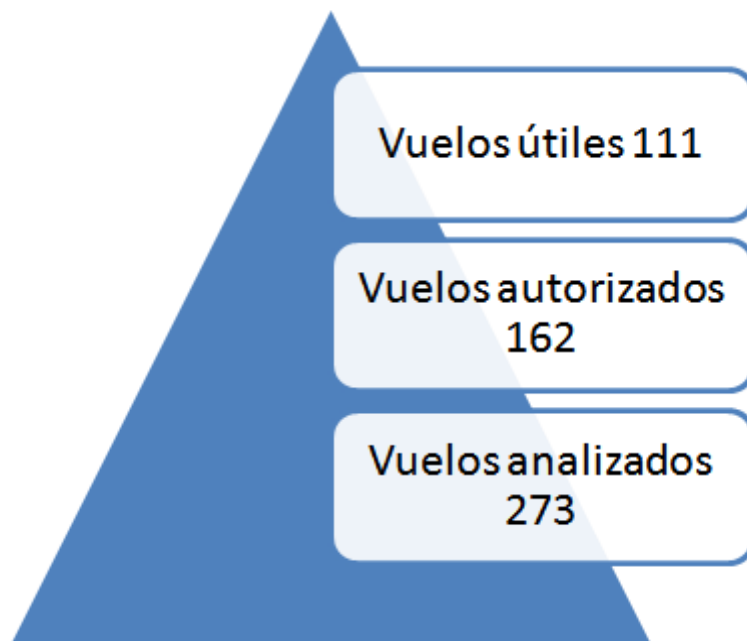


Gráfico 4, Vuelos potenciales vs vuelos útiles para su estudio, (Fuente: propia)

La toma de datos se realizó a través del programa de garantía de la calidad de vuelo operativo (FOQA), también conocido como el seguimiento de datos de vuelo (FDM) o el análisis de datos de vuelo (Flight Operational Quality Assurance) (FOQA), este es un programa de seguridad voluntario, diseñado para analizar y corregir las desviaciones en eventos que atentan contra la seguridad de la aviación, a través de un sistema proactivo que utiliza los grabadores, también conocidos como (Caja Negra) de vuelo.



Inicialmente se ha partido de los datos proporcionados desde la compañía Iberia a través del FOQA<sup>10</sup>, estos datos han sido suministrados en un formato bloc de notas, en los cuales quedan recogidos los datos de los vuelos completos desde su despegue en el aeropuerto de origen hasta su aproximación y aterrizaje en el aeropuerto de destino, que en este caso corresponde al aeropuerto de Madrid –Barajas. Estos datos han sido comprobados y analizados uno por uno, desde dos vertientes una técnica y otra profesional, consultando algunos con los ingenieros responsables de las diferentes aéreas de implicación del estudio, estructural, motores, combustible Según se puede observar en el gráfico 5, los datos han sido introducidos de una forma metódica, realizando una comprobación cruzada por los dos pilotos para minimizar los errores posibles es en la (MCDU)<sup>11</sup>.

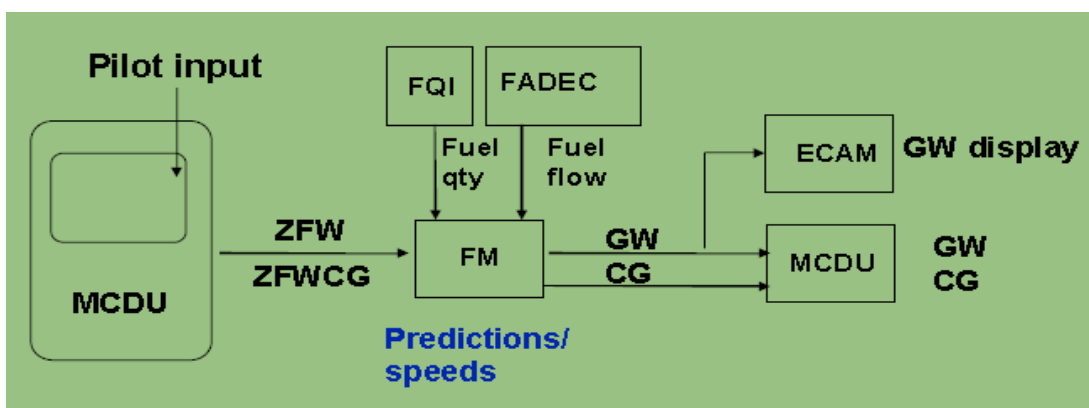


Gráfico 5, Arquitectura del procesamiento de datos en los ordenadores de avión, (Fuente: Airbus)

#### IV. ANALISIS DE LOS VUELOS (MATERIALES)

El área donde se ha realizado el estudio es el aeropuerto de Madrid-Barajas, que está localizado dentro del TMA de Madrid, opera las 24 horas del día con cuatro pistas en uso, dos 32-14 y dos 36-18. El modelo de aeronave implicada en el estudio es el Airbus A-340/600 de la flota de Iberia que dispone de un motor MA642E01.BDC de la serie 556 estándar general GA642A03.BDC Aero AA642E01.BDC.

Descripción de la operación en descenso continuo (CDA): en la operación CDA el perfil que se ha tomamos como óptimo es el de un planeo continuo, hasta un segmento de nivel mínimo necesario para

<sup>10</sup> Como resultado de un mandato Anexo 6 de la OACI, se exige a todas las compañías aéreas, conocido como el seguimiento de datos de vuelo (FDM) o el análisis de datos de vuelo, es un método de captura, análisis y / o la visualización de los datos generados por una aeronave.

<sup>11</sup> La unidad MCDU (Multi Control Display Unit) controla la administración del vuelo y el ordenador de guiado (Guidance Computer) (FMGC), el cual nos permite programar una ruta que puede ser automáticamente seguida por el avión y ajustar algunos parámetros de su vuelo.

desacelerar y configurar la aeronave para interceptar el ILS, según se puede ver en el gráfico 6.

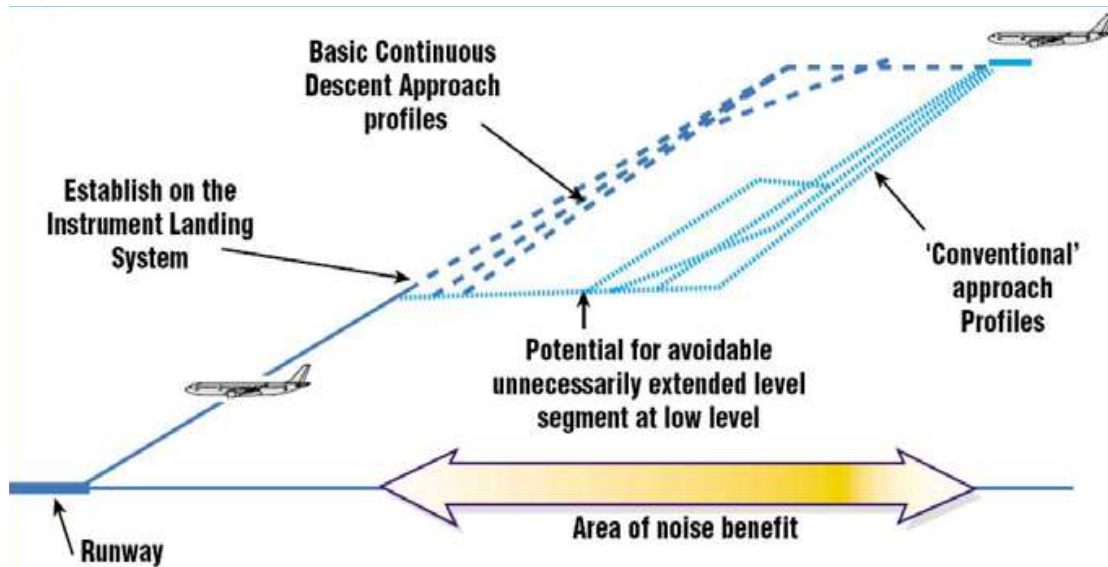


Gráfico 6 Aproximación convencional y en descenso continuo (CDA), (Fuente: INECO)

Las variables utilizadas en este estudio son del tipo cuantitativo discreto, ya que son variables numéricas, y pertenecen a un subconjunto numerable de vuelos determinados, someteremos los datos a las prueba de Kolmogorov-Smirnov para analizar la distribución normal y determinar la aplicación de una prueba paramétrica o no paramétrica. Para encontrar diferencias significativas asociadas a las diferentes intervenciones utilizaremos la t-Student. Esta misma prueba se realiza para determinar la ausencia de diferencias.

En la gráfica 7 se muestran los resultados estadísticos obtenidos en la muestra de 273 vuelos, en los cuales se ha contabilizado la cantidad de combustible consumido en la fase de descenso desde 21.000 pies hasta alcanzar 5.000 pies, anotando su cumplimiento o no con las especificaciones para su estudio.

RETACDA	Nº de vuelos	MEDIA Kg	DESVIACION TIPICA (kg)	ASIMETRIA ERROR TÍPICO	CURTOSIS ERROR TÍPICO
SI	111	543,50	147,855	,229	,455
NO	162	724,90	266,904	,191	,379

Gráfica 7. Estadísticos de grupo, (Fuente: propia)

En el gráfico 8 se observa el consumo de combustible programado y el consumido en un periodo de 10 meses y como se puede ver el combustible consumido es inferior al programado en un 0,30% desde que se ha implantado el descenso continuo en el aeropuerto de Madrid-Barajas a finales de 2012.

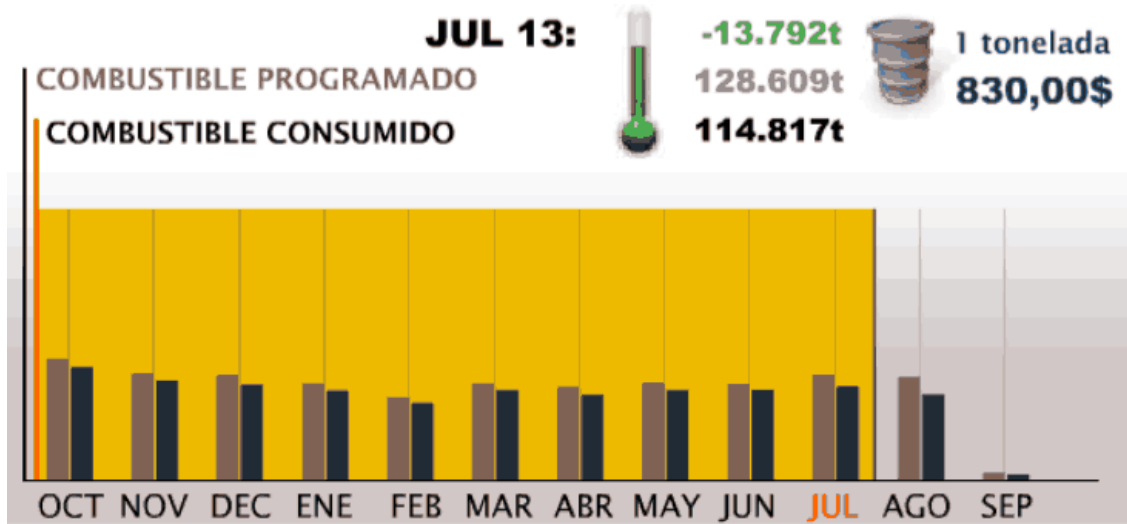


Gráfico 8 Combustible programado v/s consumido en 2013, (Fuente: Iberia)

Con todos estos datos se puede afirmar que además de aportar una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero (que nos acerca a nuestro compromiso con el protocolo de Kioto), no podemos dejar de fijarnos en la disminución en el tiempo de vuelo. Este es un dato más que interesante para las compañías aéreas.

## V. CONCLUSIONES

A) Los vuelos CDA han demostrado la eficiencia en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, que podrían ser muy considerables teniendo en cuenta la cantidad de Tráfico Aéreo en el aeropuerto de Madrid –Barajas.

B) Teniendo en cuenta esta reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>, las compañías aéreas tendrán menos necesidad en acudir al mercado de compra de emisiones por no cumplir con el Protocolo de Kioto, o tienen la posibilidad de crecer y aumentar sus flotas de aviones.

C) Por los informes de los pilotos se puede deducir que no existe un aumento de su carga de trabajo en esta fase de aproximación y en general las tripulaciones son favorables a este tipo de aproximación.

D) Los informes llegados desde ATC también muestran que este tipo de aproximación no tiene una dificultad añadida a su trabajo normal, aunque en alguna franja horaria podría penalizar el número de aproximaciones.

Con toda esta información se puede concluir que con la implementación de las aproximaciones CDA en las áreas terminal se obtendría un impacto positivo prácticamente en todas los aeropuertos, minimizando las emisiones de gases de efecto invernadero así como disminuyendo el impacto de la huella acústica en las proximidades de los mismos, además del ahorro en tiempo y combustible para las compañías aéreas.

## **VI. BIBLIOGRAFÍA**

**Brundtland, G. (1987).** Our Common Future, Oxford University Press.

**IPCC (2007c):** Summary for Policymakers. Climate Change 2007: Synthesis Report, página 2 y 5.

**IPCC (2007e):** Summary for Policymakers. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pág. 727.

**IPCC (2007g):** Summary for Policymakers. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pág. 21.

**Keeling, Charles D. (1978).** "The Influence of Mauna Loa Observatory on the Development of Atmospheric CO<sub>2</sub> Research". In Mauna Loa Observatory: A 20th Anniversary Report. (National Oceanic and Atmospheric Administration Special Report, September 1978), edited by John Miller, pp. 36-54. Boulder, CO: NOAA Environmental Research Laboratories.

**Protocolo de Kioto (1997).** Del convenio marco sobre cambio climático de la ONU (UNFCCC) del 11 de diciembre de 1997, Organización de Naciones Unidas (ONU).

**Stern, N. (2006).** The Economics, of Climate Change, Reino Unido 144.16.