

Impacto de la ley de comercio europeo de emisiones de CO₂ para el sector del transporte aéreo en la valoración de los derechos de compra de aviones



Impact of the european emission trading scheme for the air transportation industry on the valuation of aircraft purchase rights

• Joan Tarradellas-Espuny
• Antonio Salamero-Salas
• Carme Martínez-Costa

Doctor en administración de empresas
Doctor en administración de empresas
Doctor en administración de empresas

EADA Business School
Universitat Politècnica de Catalunya
Universitat Politècnica de Catalunya

Recibido: 08/01/09 • Aceptado: 15/06/09

ABSTRACT

- The European Commission issued a legislative proposal in December 2006, suggesting a cap on CO₂ emissions for all planes arriving or departing from EU airports, while allowing airlines to buy and sell 'pollution credits' on the EU 'carbon market' (Emissions Trading Scheme, or ETS). In 2008 the new scheme got the final approval.
- Real options appear to be an appropriate methodology to capture the extra value brought by the new legislation on new airplane purchase rights: the airline will surely have the purchase right to the new plane if the operation of the plane generates unused pollution credits that the airline can sell at a minimum price in the carbon market.
- This paper tries to determine if the impact of ETS in the valuation of aircraft purchase rights is significant enough—in monetary terms—to include the new legislation in a complex real-option model already proposed by the authors recently. The research concludes that even the impact of ETS justifies its inclusion in the model, the quality of the available sets of historical data still raises some questions. Particularly, the assumption of market efficiency for the Carbon Pool over the recent years needs to be treated with caution.
- **Key words:** Valuation Methods. Corporate Finance. Real Options. Airline Industry. Climate Change. CO₂ emissions.

RESUMEN

En diciembre de 2006 la Comisión Europea publicó una propuesta legislativa que sugería un límite a las emisiones de CO₂ para todos los aviones que aterrizaran o despegaran de aeropuertos de la UE, al tiempo que permitía a las compañías aéreas comprar y vender “derechos de emisión” en el mercado europeo de emisiones de dióxido de carbono, o “Emissions Trading Scheme” (ETS). En 2008 la propuesta fue definitivamente aprobada.

Las opciones reales parecen ofrecer una metodología adecuada para capturar el valor adicional que la nueva legislación aporta a los derechos de compra de nuevos aviones: con toda seguridad, la línea aérea ejercerá el derecho de compra del nuevo avión si el funcionamiento del mismo genera unos derechos de emisión no utilizados que la línea aérea puede vender en el mercado de emisiones de dióxido de carbono.

Este documento intenta determinar si el impacto del ETS en la valoración de los derechos de compra de aviones es suficientemente significativo, en términos monetarios, para incluir la nueva legislación en un modelo complejo de opciones reales que los autores han propuesto recientemente. La investigación llega a la conclusión de que, si bien el impacto del ETS justifica su inclusión en el modelo, la calidad de los datos históricos disponibles suscita algunas preguntas. En particular, la suposición de eficiencia del mercado de emisiones de dióxido de carbono en los últimos años debe abordarse con precaución.

Palabras clave: Métodos de valoración. Finanzas corporativas. Opciones reales. Sector de líneas aéreas. Cambio climático. Emisiones de CO₂.

1. INTRODUCCIÓN

Recientemente se ha propuesto y desarrollado un modelo completo de valoración de los derechos de compra de aviones, basado en técnicas de valoración de opciones, para abordar con precisión la compra de aviones eficientes en consumo bajo circunstancias de incertidumbre en los precios futuros del queroseno (Tarradellas et al., 2008). Sin embargo, dicho modelo estaba pensado para incluir el impacto de los precios del combustible -pero no el de la legislación europea sobre emisiones de CO₂ (ver Bárcena, 2003)- sobre los beneficios futuros de cualquier compañía aérea que haga el pedido de un nuevo avión. El motivo de este estudio es determinar con datos reales y mediante el uso de opciones reales, si el impacto de la nueva legislación es suficientemente significativo para aconsejar incluirlo en modelos completos de valoración de derechos de compra de aviones.

Una línea aérea puede describirse como una cartera de recursos (algunos tangibles y muchos intangibles), reunidos para hacer realidad una misión corporativa (Holloway, 2003). A su vez, una flota puede verse como una cartera de recursos, reunidos para llevar a cabo un determinado número de misiones con diversas capacidades de carga (*payload*). El principal objetivo de la planificación de flotas es igualar la capacidad de producción (y el *output* que dicha capacidad puede generar si se gestiona de una manera eficiente) con la demanda prevista, dado un cierto rendimiento o *yield* (el precio del billete) y dadas otras suposiciones de marketing, de las que una de las más importantes es el coeficiente de ocupación PLF (por *passenger load factor*), o el porcentaje de asientos ocupados en relación al número total de asientos disponibles. Son dos las razones fundamentales que aconsejan adquirir o contratar en *leasing* un avión:

- Reemplazo de la capacidad ya existente. Puede ser necesario reemplazar parte de la flota actual debido a sus elevados costes operativos, a sus niveles de ruido, a unas emisiones inaceptables, a una corta vida útil restante, a su inadecuado atractivo para los pasajeros, o a una política basada en mantener una edad media de la flota reducida. El objetivo sería encontrar un avión capaz de realizar la misión con más eficacia y efectividad que el avión a reemplazar.
- Aumento de la capacidad. En general, la demanda de servicios de transporte aéreo continúa aumentando, por lo que la necesidad de sustituir unos aviones envejecidos que cada vez resultan más caros de operar o que no ofrecen unos parámetros de sostenibilidad medioambiental razonables suele estar relacionada con la necesidad de aumentar la capacidad. La capacidad añadida puede ser necesaria para crecer en la red actual, o para agregar nuevas misiones, nuevas rutas, etc.

Las compañías aéreas necesitan toda la flexibilidad que puedan conseguir en sus flotas. En este sentido, los

fabricantes de fuselajes se han esforzado por mejorar la flexibilidad y reducir los tiempos de entrega. Otra fuente de flexibilidad es el uso de derechos u opciones de compra: dependiendo de las circunstancias del mercado, los fabricantes tienden a valorarlos muy por debajo de su valor real (Holloway, 2003)

Los distintos fabricantes desglosan sus precios contractuales de modos distintos, pero la mayoría incluye los siguientes elementos:

- Precio del fuselaje con las especificaciones estándar.
- Motores, el precio de los cuales se negocia separadamente cuando existe la posibilidad de elegir al proveedor.
- Costes adicionales, dependiendo de si se eligen equipos suministrados por el vendedor, o suministrados por el comprador.
- Descuentos negociados o índices de inflación, valor de las letras de crédito emitidas por el fabricante de equipos originales u OEM (*original equipment manufacturer*) para ayudar financieramente a la compañía aérea.
- Soporte de producto, como formación de técnicos, repuestos, etc.

2. METODOLOGÍA: LOS DERECHOS DE COMPRA DE AVIONES COMO OPCIONES REALES

Al comprar un avión, una opción permite a la línea aérea comprar un avión adicional en el futuro, al precio y en la fecha acordados (Luftman, 2003). Al hacer pedidos de nuevos aviones, las compañías aéreas suelen obtener estas opciones del fabricante, por ejemplo **Airbus** o **Boeing**. Gracias a estas opciones, las compañías aéreas pueden retrasar la compra de nuevos aviones hasta que las condiciones del mercado estén más claras y la compra pueda justificarse. Las opciones también reservan a la compañía aérea un sitio en la cola del fabricante, de modo que le queda garantizado un número u orden de entrega. Dependiendo de las condiciones económicas, muchas veces los fabricantes venden opciones de compra de aviones por debajo del valor real de los aviones (Holloway, 2003).

El uso de opciones reales constituye la técnica de valoración que más se aproxima al permitir tanto el aplazamiento de la decisión hasta que aumenta la certidumbre, como la velocidad cuando la toma de la decisión está justificada. Las opciones reales son inversiones realizadas para obtener flexibilidad. En una de sus formas más habituales, pueden ser opciones adquiridas para comprar un activo real o físico en o antes de un momento dado; así, una línea aérea puede obtener una opción para comprar el último modelo de avión Boeing o Airbus en una fecha futura. Si las condiciones del mercado justifican una expansión, la compañía aérea puede obtener el avión en esa fecha, en lugar de hacer el pedido y esperar

en cola a que tenga lugar la entrega, algo que puede durar años. Si las condiciones futuras no justifican la expansión, la línea aérea no tiene ninguna obligación de comprar el avión. Las opciones renovables (*rolling options*) se diferencian de las opciones ordinarias de compra de aviones en que el número u orden de entrega se asigna con posterioridad, cuando la opción se ejecuta o vence.

Los acuerdos respecto al precio final entre la línea aérea y el fabricante son confidenciales. Se sabe que los derechos u opciones de compra suelen incorporar una prima, aunque algunas negociaciones acaban con un acuerdo global sobre

opción de compra con un precio *strike* o de ejercicio determinado.

La siguiente tabla muestra una selección de pedidos de compañías aéreas, firmados durante la primera mitad de 2006, con las correspondientes fechas esperadas de entrega. La tabla muestra que algunas de las entregas, particularmente para los modelos de mayor envergadura, se espera que tengan lugar en un plazo de 3 a 5 años. La magnitud de los tiempos de entrega convierte a las opciones reales en una herramienta particularmente útil para valorar los derechos de compra futuros.

Compañía	País	Pedidos de aviones	Fecha pedido, 2006	Fecha de entrega
China Southern Airlines	China	50xA320	7 julio	2009-2010
Ryanair	Irlanda	10x737-800	4 julio	2008
TAM	Brasil	15xA319	29 junio	2006-2010
TAM	Brasil	16xA319	29 junio	2006-2010
TAM	Brasil	6x330	29 junio	2006-2010
SkyEurope	Eslovaquia	5x737	28 junio	2008
China Eastern Airlines	China	30xA320	27 junio	2008-2010
Cathay Pacific Airlines	China	6x747-600ER	22 junio	2008-2009
Singapore Airlines	Singapur	20x787-9	14 junio	2011-2013
Gol	Brasil	67x737-800NGs	Junio	2006-2012
Sky Airlines	Turquía	3x737-900ER	8 junio	2009
Continental Airlines	EEUU	10x787	6 junio	2009
Continental Airlines	EEUU	24x737NG	6 junio	2008
Cathay Pacific	China	2x777-300ER	2 junio	2008
Alafco	Kuwait	5x737-800	31 mayo	2006
Virgin Blue	Australia	9x737s	10 mayo	2008-10
JetBird	Suiza	50xEmbraer Phenom 100s	10 mayo	2009
Sale	Singapur	10x737-800s	25 abril	2009-10
Kingfisher Airlines	India	5xA340-500	24 abril	2008
CopaAirlines	Panamá	3xEmbraer 190	21 abril	2007-08
Air Europa	España	16x737s	6 abril	2010
Gecas	EEUU	30x737s	31 marzo	2010
Royal Jordanian	Jordania	7xEmbraer 195	22 marzo	2006
Go Air	India	20xA320	21 marzo	2006
Alaska Airlines	EEUU	39x737-800	13 marzo	2006
Pegasus	EEUU	6x737	9 marzo	2008

Tabla 1: Compromisos y calendario esperado de entregas para compañías aéreas seleccionadas. Fuente: Airfinance Journal; julio 2006, nº 292, pág. 43.

el precio de compra de los compromisos en firme que incluye derechos de compra gratuitos. En cualquier caso, el derecho de compra siempre incorpora una prima, pues aporta a la compañía aérea una cierta flexibilidad, mientras que implica riesgos para el fabricante si finalmente las opciones no se ejecutan. La otra característica es que el precio de compra futuro de la opción se determina normalmente con antelación, de modo que en realidad el derecho de compra es comparable a una *call option* u

2.1. VALORACIÓN DE DERECHOS DE COMPRA DE AVIONES

Un ejercicio de valoración de derechos de compra debe tener en cuenta que la línea aérea ejercitará el derecho de compra futuro de un nuevo avión sólo si la inversión en esta nueva unidad parece rentable en el momento de ejercitarse la opción; es decir, si el valor actual (VA) de los beneficios netos futuros generados por la nueva unidad supera al precio de compra más los costes adicionales de la

El nuevo esquema legislativo de la UE aún incorpora muchas incertidumbres que crean una oportunidad para las técnicas de valoración basadas en opciones reales

inversión descritos más arriba. El uso de técnicas basadas en opciones reales implica calcular la volatilidad (expresada como desviación estándar) del valor actual de los beneficios netos futuros. A su vez, esto requiere una correcta estimación del conjunto de incertidumbres que afectan a esa rentabilidad. Como demostramos en el siguiente apartado, los principales elementos que afectan a la rentabilidad de la compra de un nuevo avión incorporan una considerable volatilidad. De nuevo, la incertidumbre sobre el mercado y los costes del sector en el futuro, junto con el largo tiempo que requiere la entrega de un nuevo avión, convierten el uso de opciones reales en una técnica conveniente para valorar opciones de compra.

2.2. PRINCIPALES FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN LA COMPRA FUTURA DE UN AVIÓN

La rentabilidad futura de la inversión en un avión dependerá de varios factores. En la actualidad, los principales parámetros que habitualmente se tienen en cuenta para calcular el valor aproximado de una opción de compra de un avión son:

- En lo referente a los ingresos, los principales elementos son el *yield* y el *load factor*.
- En lo referente a los costes, el elemento más importante es el precio del combustible.

Cuando la compra de un nuevo avión tiene por objetivo aumentar la capacidad de la compañía aérea, la rentabilidad futura de la nueva capacidad añadida dependerá, entre otros, de la capacidad de la compañía para hacerse con los permisos o *slots* correspondientes en los aeropuertos de llegada y salida, de la capacidad operativa general de los nuevos aeropuertos que utilice, de la construcción de nuevas pistas en los mercados ya existentes, del abandono de rutas por compañías aéreas competidoras, etc. En última instancia, sin embargo, el rendimiento financiero específico de la nueva capacidad añadida dependerá de:

- Los ingresos por pasajero y kilómetro (*revenue passenger km*, o RPK)
- El coeficiente de ocupación PLF (*passenger load factor*), expresado como porcentaje de asientos ocupados sobre el total de asientos ofrecidos.

El siguiente gráfico muestra la evolución del PLF anual medio desde el año 2000:

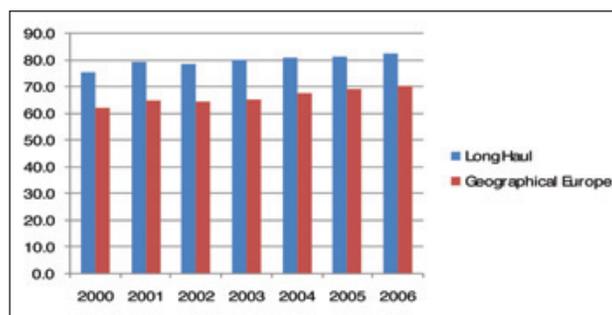


Gráfico 1: PLF en % registrados por las líneas aéreas europeas tradicionales. Fuente: Asociación Europea de Líneas Aéreas, 2008

El siguiente gráfico muestra la evolución de los ingresos por pasajero, expresados como RPK. En este caso, los datos anuales pueden tomarse como referencia para calcular la volatilidad del indicador RPK:

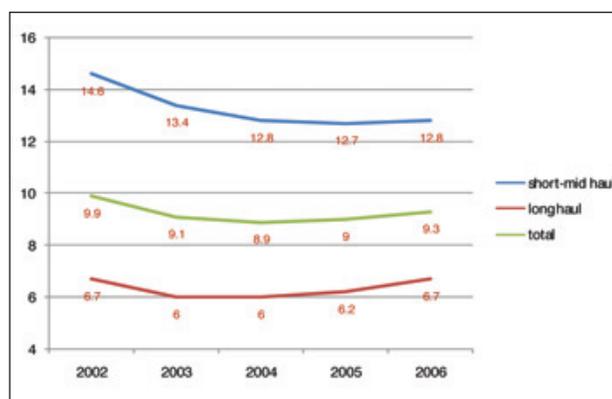


Gráfico 2: céntimos de euro/RPK. Fuente: Asociación Europea de Líneas Aéreas, 2008

El otro lado de la ecuación de la rentabilidad es el coste de hacer volar al pasajero. La reciente escalada de los precios del petróleo ha cambiado radicalmente la estructura de costes típica de una línea aérea normal, creando una nueva fuente de incertidumbre que es cada vez más importante. Esto se refleja claramente en el siguiente gráfico, que muestra la evolución del precio del queroseno y su reciente escalada, hasta más que quintuplicar los precios de 1999.

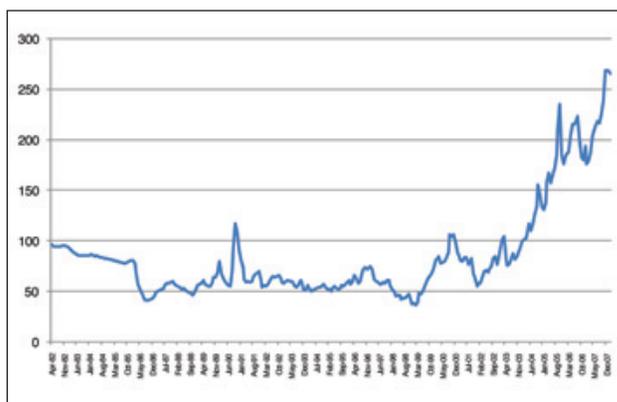


Gráfico 3: Precio de refinera al usuario final de los combustibles tipo queroseno para reactores; centavos nominales por galón, impuestos no incluidos. Fuente: Economagic 2008

La Asociación Europea de Líneas Aéreas estima que, a lo largo de los tres últimos años, el coste del combustible ha doblado su peso en los costes operativos totales de las líneas aéreas.

2.3. AMPLIACIÓN DE LA LEGISLACIÓN COMUNITARIA SOBRE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

En un esfuerzo por abordar la pequeña pero rápidamente creciente contribución de la aviación al cambio climático, en diciembre de 2006 la Comisión publicó una propuesta legislativa que sugería un límite a las emisiones de CO₂ para todos los aviones que aterrizaran o despegaran de aeropuertos de la UE a fin de ampliar a este sector la directiva que regula el comercio europeo de emisiones de CO₂ (Directiva 2003/87/CE), al tiempo que permitía a las compañías aéreas comprar y vender derechos de emisión en el mercado europeo de emisiones de dióxido de carbono (*Emissions Trading Scheme*, o ETS). En 2008, la propuesta fue definitivamente aprobada (Directiva 2008/101/CE)

El nuevo esquema legislativo de la UE aún incorpora muchas incertidumbres que crean una oportunidad para las técnicas de valoración basadas en opciones reales: en este sentido, la incertidumbre más importante es la evolución y volatilidad de los precios de los derechos de emisión de dióxido de carbono (Gessa, Rabadán, Jur.ado; 2009). Ante la nueva legislación europea que regula el ETS, las compañías aéreas y los fabricantes de aviones tendrán que capturar el valor adicional de los derechos de compra de

nuevos aviones: con toda seguridad, la línea aérea ejercerá el derecho de compra del nuevo avión si el funcionamiento del mismo genera unos derechos de emisión no utilizados, que la línea aérea pueda vender en el mercado de emisiones de dióxido de carbono.

El siguiente gráfico muestra la evolución de los derechos de emisión de CO₂ durante los tres últimos años, y refleja una volatilidad significativa. Resulta interesante comprobar que el precio del combustible y los derechos de emisión de CO₂ no muestran correlación alguna. Esto es coherente con el hecho de que los derechos de emisión de CO₂ dependen de una oferta y una demanda procedentes de

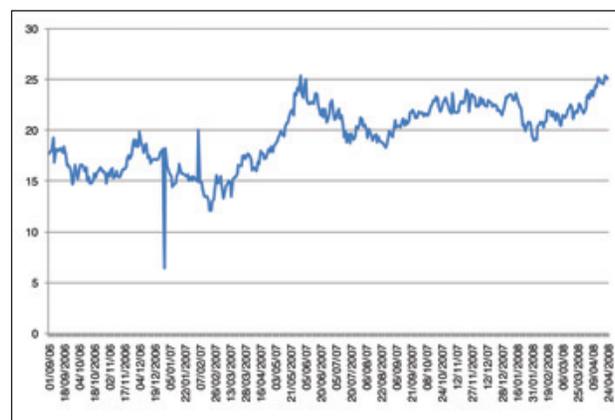


Gráfico 4: Precio de mercado de los derechos de emisión de dióxido de carbono en el mercado europeo, en €/ tonelada de CO₂, precios de apertura. Fuente: CO2solutions.com, mayo de 2008.

industrias “contaminantes“, que apenas guardan relación con la dinámica de la oferta y demanda de petróleo. La volatilidad de los precios diarios se ha estimado como los resultados del logaritmo natural del precio hoy entre el precio de ayer, con un valor medio de Sigma = 0,082 durante el período que va de septiembre de 2006 a mayo de 2008. Teniendo en cuenta que un año medio tiene 252 días de mercado, esto supone una volatilidad anual de 1,30.

Se están diseñando nuevos aviones comerciales que reducen significativamente las emisiones contaminantes. En comparación con los aviones tradicionales, algunos de los modelos más recientes de **Boeing** y **Airbus** reducen las emisiones hasta un 30%. Con la nueva legislación, las compañías aéreas que operen con nuevos modelos pueden obtener una cartera de derechos de emisión no utilizados

Los derechos de compra de aviones pueden asimilarse a una call option sobre una inversión (el avión) que generará valores actuales positivos, en términos tanto de ahorros de combustible como de los beneficios procedentes de la venta de los derechos de emisión

que podrán vender en el mercado europeo obteniendo beneficios.

Así, los derechos de compra de aviones pueden asimilarse a una *call option* sobre una inversión (el avión) que generará valores actuales positivos, en términos tanto de ahorros de combustible como de los beneficios procedentes de la venta de los derechos de emisión. Mientras que el modelo supone que los ahorros en combustible ya están capturados en el precio neto del nuevo avión, los recargos por las emisiones de dióxido de carbono y los potenciales beneficios generados en el mercado de emisiones no lo están.

2.4. MODELO DE FÓRMULA CERRADA PARA CALCULAR UN VALOR APROXIMADO DE LA CONTRIBUCIÓN ESPECÍFICA DEL ETS AL VALOR DE LAS OPCIONES DE COMPRA

Dado que el propósito de este estudio es determinar si el valor adicional de la nueva legislación es lo suficientemente significativo como para incluirlo en un modelo de valoración más complejo (ver Tarradellas et al., 2008), hemos creído conveniente utilizar un modelo de fórmula cerrada como aproximación válida para ver la magnitud del posible resultado. Si bien para modelos complejos puede ser conveniente el uso de metodologías de cálculo numérico, como la técnica del árbol binomial (ver Copeland y Antikarov, 2000), en este caso, en el que el principal componente de volatilidad está bien definido (volatilidad del precio de los permisos de emisión) y además el ejercicio de la opción está bien determinado en el tiempo (se ejercerá a la entrega del avión, o sea es asimilable a una *call* europea), hemos optado por utilizar la fórmula cerrada de valoración de Black Scholes (ver Trigeorgis, 1996)

Podemos, por tanto, asimilar el derecho de emisión de carbono como un título o *security* con un precio de S_t , que sigue un movimiento geométrico Browniano con un crecimiento constante μ y una volatilidad σ :

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t \quad (1)$$

La volatilidad σ de los precios de los derechos de emisión S , así como el tiempo de vencimiento T para ejercitar la opción, son los parámetros clave que determinarán el valor adicional del derecho de compra del avión. En ese caso, si Φ es la función de distribución acumulativa normal estándar y r la tasa de interés libre de riesgo, el derecho de compra puede modelarse como una *call option* u opción de compra europea con un *strike price* o precio de ejercicio K ; de acuerdo con la formulación de Black-Scholes:

$$C(S, T) = S\Phi(d_1) - Ke^{-rT}\Phi(d_2) \quad (2)$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S/K) + (r - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}.$$

(3)

De este modo, las variables necesarias para determinar el valor de la opción son:

- Tiempo de vencimiento de la opción, T , en años tras los que la aerolínea decidirá si ejerce su derecho de compra y el fabricante le entrega, o no, la aeronave.
- Tasa de interés sin riesgo, r .
- Volatilidad anual del precio de los permisos de emisión de CO₂, σ
- Valor actual de los ahorros generados por el nuevo avión, S , a los precios de hoy de los permisos de emisión de CO₂
- Precio de ejercicio K , como precio de compra del avión acordado en el contrato de opción actual.

La determinación de estos parámetros ha exigido recoger datos de campo y, en algunos casos, realizar estimaciones de acuerdo con la información disponible.

- En lo relativo a la Tabla 1, hemos estimado un vencimiento de 5 años, en línea con el tiempo medio de entrega de los nuevos modelos, **Boeing Streamliner** y **Airbus A380**.
- La tasa de interés libre de riesgo, necesaria para las ecuaciones (2) y (3), se ha estimado en el 4,77%, tomando como base el tipo de interés, en mayo de 2008, de diversas obligaciones públicas europeas a largo plazo.
- A partir de los datos del mercado de emisiones de carbono que muestra el Gráfico 4, la volatilidad diaria es de 0,082, equivalente a una volatilidad anual de 1,30.
- Los datos de consumo de combustible se han obtenido de fuentes distintas. Todas ellas confirman que los nuevos modelos pueden reducir el consumo de combustible entre un 20% y un 30%. Para verificar nuestro modelo hemos elegido una reducción media del consumo del 25%. Cada kilogramo de combustible ahorrado reduce las emisiones de CO₂ en 3,16 Kg. Esta cifra nos permite estimar el valor actual de los ahorros futuros, para una línea aérea, debidos a la reducción en el ejercicio de los derechos de emisión de CO₂. A una tasa de descuento media del 10% y un precio del CO₂ de €25 por tonelada, el valor actual de los ahorros futuros debidos a las menores emisiones

El valor actual adicional que aportan los derechos de emisión de CO₂ será tanto más importante cuanto más alto sea el precio de los derechos de emisión de CO₂ en el momento de ejercitarse el derecho de compra.

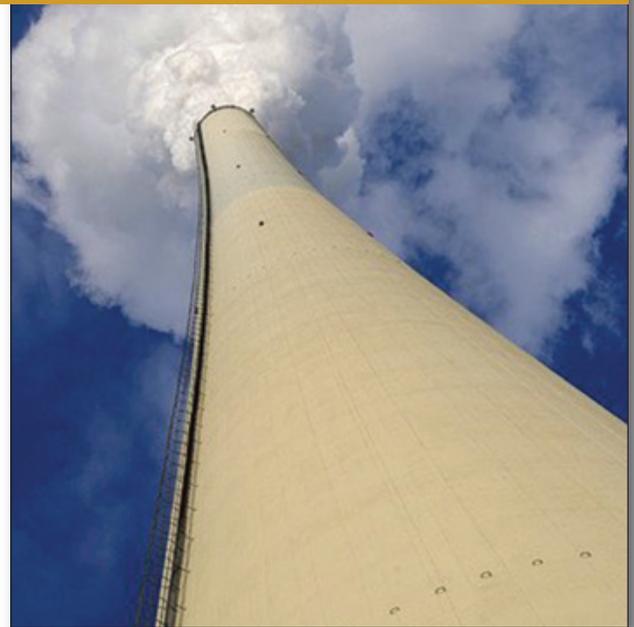
de CO₂ asciende a 1,4 millones de euros aproximadamente.

- Además de todo lo anterior, tuvimos que recoger datos sobre evolución de los precios de los combustibles, *yield* por pasajero y PLFs para las compañías aéreas europeas, las más afectadas por la nueva legislación sobre emisiones.
- Otros datos, como el precio de catálogo para la compra de aviones comerciales.

3. RESULTADOS

Una de las premisas del estudio es que el cálculo del valor de las opciones de compra de aviones tiene en cuenta las incertidumbres más relevantes que afectan a la futura rentabilidad de la inversión (*yield*, PLF, precio del combustible), de modo que cuando llega el vencimiento del derecho, la compañía aérea toma la decisión de ejercerlo (comprar el avión) si los rendimientos futuros superan a la inversión en el momento de la decisión. Si el valor actual es menor que la inversión, no se tomará la decisión de comprar a menos que la diferencia la compense otra fuente de ahorros (en este caso, unas menores emisiones de CO₂).

El valor actual adicional que aportan los derechos de emisión de CO₂ será tanto más importante cuanto más alto



sea el precio de los derechos de emisión de CO₂ en el momento de ejercitarse el derecho de compra. El valor adicional (que podemos denominar “ventana de valor actual adicional requerida para comprar el avión”) puede asimilarse al precio de ejercicio de la opción de compra incluyendo el impacto de la nueva legislación sobre CO₂ (ETS), dado que al final éste dará pie a la compra del avión.

El siguiente gráfico muestra el valor de la opción de compra incluyendo el impacto de la nueva legislación sobre CO₂ (ETS), para distintos supuestos de consumo de combustible del avión a reemplazar y distintos valores de la “ventana de valor actual adicional requerida para comprar el avión”, tal como la hemos descrito más arriba.

Usando la volatilidad histórica de los permisos de emisión de CO₂, el interés libre de riesgo, y un tiempo de vencimiento de la opción de 5 años, se obtiene que el valor adicional de la opción al incluir ETS, oscila entre 100.000 y 1 millón de euros, valores ciertamente no despreciables en el marco de cualquier negociación de compra de una aeronave.



Gráfico 5: Valor adicional de las opciones de compra debido a los derechos de emisión de CO₂, en miles de euros, dependiendo del consumo anual de combustible del avión que se reemplaza.

4. DISCUSIÓN

Los valores obtenidos en nuestra investigación demuestran que la nueva legislación sobre niveles de emisión de CO₂ sí afecta significativamente a la negociación de derechos de compra de aviones entre las líneas aéreas y los fabricantes de aviones. Los decrecientes márgenes de las compañías aéreas, debido a los mayores precios del combustible y a la presión sobre los *yields* y *load factors* que ejercen las compañías de bajo coste, convertirán fácilmente los valores actuales añadidos en un factor decisivo cuando llegue la hora de ejercitar el derecho de compra.

El proceso de negociación entre una compañía aérea y un fabricante es largo y complejo. En ambos lados de la mesa de negociaciones hay en juego importantes inversiones y decisiones estratégicas. El precio de catálogo de una sola unidad de los aviones comerciales más recientes alcanza los 200 millones de dólares (unos 135 millones de euros), lo que tiene importantes implicaciones en términos de planificación de la capacidad y la producción.

Todo elemento adicional que ayude a una de las partes a cerrar la negociación con éxito (incluyendo la correcta y precisa valoración de los posibles elementos de intercambio en la negociación) constituirá para ella una ventaja significativa.

Queda por dilucidar, sin embargo, la validación del comportamiento tipo **Gauss-Wiener** para el mercado de emisiones de CO₂. De hecho, ésta es una de las hipótesis más débiles, dada la influencia de los gobiernos europeos sobre los precios del mercado de emisiones de carbono en los últimos años. El hecho de que el mercado de emisiones de CO₂ no sea en la actualidad de tipo *Gaussiano*, no invalida la magnitud del resultado de este trabajo: el valor adicional de la opción es suficientemente significativo para ser tenido en cuenta si bien pone en cuestión la exactitud del resultado del valor adicional de la opción. Una de las contribuciones que se pueden realizar en trabajos futuros, y que mejorarían la validez y precisión de los resultados de este estudio, será la revisión del valor adicional de la opción con series numéricas de dos o tres años más para determinar de nuevo la volatilidad de los precios de los permisos de emisión de CO₂, así como replantear su comportamiento *gaussiano*.



De acuerdo con la literatura reciente, este trabajo es el primer intento hasta la fecha que utiliza opciones reales para poner en relación un mercado de emisiones de dióxido de carbono de nueva creación con el sector de la aviación comercial y con el valor de los derechos de compra de nuevos aviones. El impacto de la nueva legislación para reducir las emisiones de CO₂ merece un riguroso análisis de la valoración adicional de los derechos de compra futuros.

5.- BIBLIOGRAFÍA

- Bárcena I. "El sistema de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en Europa", *Dyna* vol. 78, nº9, diciembre 2003, pp. 56-61. ISSN 0012-7.361.
- Copeland T, Antikarov V. *Real Options: A Practitioner's Guide*. Nueva York: TEXERE Publishing Limited, 2001. 360 p. ISBN 1-587-99028-8.
- Editor. "Editorial", *Airfinance Journal*, Vol. 292, p. 43.
- European Comission. Directiva 2003/87/CE y Directiva 2008/101/CE
- Gessa-Perera A, Rabadán-Martín I, Jurado-Martín JA. "La planificación de la producción industrial y las emisiones de CO₂". *DYNA* marzo 2009. Vol.84-2 p.117-126
- Holloway S. *Straight and Level: Practical Airline Economics*. Ashgate Publishing, Ltd., 472. 2003. 621 p. ISBN: 0-7546-1929-X
- Luftman J. *Competing in the Information Age: Align in the Sand*. Estados Unidos: Oxford University Press, 321. 2003. 414 p. ISBN: 0195159535
- Tarradellas J et al. "A Complete Real Option Model to Value Airline Purchase Rights." *Air Transportation Research Society, Conference proceedings*. 2008.
- Trigeorgis L. *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. Cambridge, Massachusetts The MIT Press, 1996. 421p. ISBN 0-262-20102-X.