



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas

**LA EFICIENCIA DEL
TRANSPORTE AÉREO DE
PASAJEROS EN ESPAÑA:
UNA APLICACIÓN DE LA
METODOLOGÍA DEA**

Alumno: Alejandro Soto Moreno

Mayo, 2016

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.....	7
2.1.La frontera de posibilidades de producción de una economía	7
2.2.La eficiencia productiva	8
2.2.1. Concepto y clases de eficiencia.....	8
2.3.La medición de la eficiencia productiva	9
2.3.1. Las medidas de Farrell	9
2.4.Tipos de fronteras como estándar de referencia para las empresas.....	12
2.4.1. Fronteras estocásticas	13
2.4.2. Fronteras determinísticas.....	14
2.5.El análisis envolvente de datos (DEA)	14
2.5.1. Origen.....	14
2.5.2. Concepto DEA	14
2.5.3. Descripción del modelo.....	15
2.5.4. Orientación para medir la eficiencia	17
2.5.5. Caracterización de los modelos DEA.....	18
2.5.6. Ventajas e inconvenientes del DEA	18
3. EL TRANSPORTE AÉREO DE PASAJEROS.....	20
3.1.Breve historia	20
3.2.Compañías aéreas tradicionales	21
3.3.Las compañías aéreas de bajo coste	23
3.3.1. El modelo de negocio de las compañías de bajo coste.....	24
3.3.2. Consecuencias del fenómeno <i>low cost</i> en Europa.....	25
3.4.El transporte aéreo en España	26
4. ANÁLISIS EMPÍRICO.....	28
4.1.Selección de la muestra	28
4.2.Consideraciones sobre los modelos utilizados	29
4.3.Selección de las variables.....	30
4.4.Resultados	32
4.5.Grupos de referencia	35
5. CONCLUSIONES	37
6. BIBLIOGRAFÍA.....	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Los métodos de análisis de eficiencia	12
Cuadro 2. Datos comparativos de turistas. Año 2014	23
Cuadro 3. Aerolíneas españolas seleccionadas	28
Cuadro 4. Perfil de la muestra	28
Cuadro 5. Resumen inputs y outputs	30
Cuadro 6. Valores de inputs y outputs. Año 2014	31
Cuadro 7. Estadísticos descriptivos de las variables del modelo de eficiencia	31
Cuadro 8. Resultados de eficiencia técnica global: modelo CCR	32
Cuadro 9. Resultados de eficiencia técnica pura: modelo BCC	33
Cuadro 10. Resultados de eficiencia de escala	34
Cuadro 11. Valores descriptivos de eficiencia técnica, eficiencia pura y eficiencia de escala	35
Cuadro 12. Referencias	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Frontera de posibilidades de producción	7
Figura 2. La isocuanta unitaria	10
Figura 3. Isocuanta eficiente	11

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparativa de resultados BCC y CCR	34
--	----

RESUMEN

La fuerte competencia en el sector del transporte aéreo de pasajeros ha provocado cambios importantes en este mercado a lo largo de las últimas décadas. A partir de los noventa surgieron nuevas compañías, incorporando nuevas estrategias para ganar cuota de mercado y garantizar la misma. Este trabajo tiene como finalidad analizar el servicio de las diferentes compañías aéreas españolas con relación a su gestión operacional, y comparar su eficiencia a través del Análisis Envolvente de Datos (DEA). Con el resultado obtenido en el análisis DEA, se determinará que compañías son las más eficientes: las tradicionales o las nuevas *low cost*.

Palabras clave: Transporte aéreo de pasajeros, análisis envolvente de datos, eficiencia, compañías tradicionales, *low cost*.

ABSTRACT

The strong competitiveness on the air transport of passengers sector has induced substantial changes on this market on the last decades. Since nineties new companies were born, incorporating new strategies to gain market share and to guarantee it. This work has as purpose to analyze the performance of the different Spanish airlines with relation to his operational management, and compare his efficiency across the Data Envelopment Analysis (DEA). With the result obtained in the analysis DEA, we will determinate which companies are the most efficient: the traditional ones or the new low cost.

Key words: air transport of passengers, Data Envelopment Analysis, efficiency, traditional companies, low cost.

1. INTRODUCCIÓN

El sector del transporte aéreo de pasajeros ha sufrido importantes transformaciones estructurales a lo largo de las últimas décadas. Desde el inicio de los noventa, el sector atravesó por un proceso de liberalización en Europa y América, que transformó la política vigente, instalada desde el final de los sesenta, en la cual la estructura y la conducta del mercado sólo practicaba un modelo tradicional de negocio. Surgieron nuevas operadoras, naciendo con ellas un nuevo modelo de negocio en el sector. Los dos ejemplos más claros son la compañía británica Easyjet y la irlandesa Ryanair nacidas en 1991 y 1985, respectivamente, que aún en la actualidad continúan ampliando su red de destinos europeos y siguen reduciendo costes continuamente. Una de las compañías *low cost* con mayor actividad en España es la conocida Vueling Airlines.

Las nuevas medidas impuestas por este modelo ampliaron mucho más la competencia entre las compañías y actualmente son una verdadera amenaza de las compañías aéreas tradicionales. En 2001 se produjo una liberación total de precios y una flexibilización de los procedimientos de entrada de nuevas empresas en Europa.

Año tras año el número de pasajeros que escogen como medio el transporte aéreo aumenta, y cada día son más los viajeros que utilizan este medio como transporte, ya sea por razones de trabajo o vacacionales.

La competencia establecida entre las empresas de transporte aéreo obliga a cada aerolínea a practicar un mejor desempeño para conseguir ser eficiente, lo que conlleva que desarrollen nuevas estrategias para garantizar su posición en el mercado y/o ganar cuota del mismo.

Este trabajo tiene como objeto evaluar la eficiencia de las compañías aéreas en España durante el año 2014 a través de la utilización de la metodología denominada análisis envolvente de datos. DEA Solver es el programa informático escogido para realizar el análisis empírico. Con los resultados obtenidos en el análisis empírico a través de sus diferentes modelos para el cálculo de la eficiencia técnica global, pura y de escala, se podrá deducir e interpretar que compañías son eficientes, cuáles son ineficientes, y comparar los dos modelos de negocio que desarrolla actualmente este sector. Así se podrá concluir qué modelo de negocio es el que utiliza mejor sus recursos.

El presente trabajo se divide en 5 capítulos. El actual es una breve introducción, el siguiente explica el concepto de eficiencia, sus tipos y las diferentes técnicas para su medición. Otro apartado expone la evolución y una visión actual del sector del transporte aéreo de pasajeros,

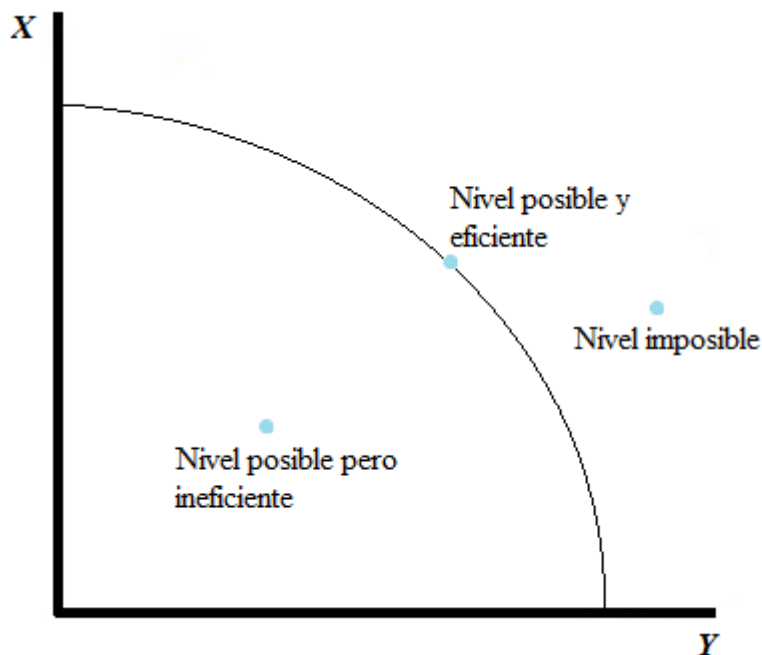
sus modelos de negocio y qué técnicas utilizan las aerolíneas para intentar alcanzar la eficiencia. Posteriormente se realiza un estudio empírico con la muestra seleccionada y se comentan los resultados. Por último, se encuentra la conclusión a todos los apartados anteriores.

2. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

2.1 LA FRONTERA DE POSIBILIDADES DE PRODUCCIÓN (FPP) DE UNA ECONOMÍA

Para valorar la eficiencia de cualquier sistema productivo es necesario comparar el nivel de recursos empleados y el nivel de producto obtenido. En este sentido la frontera de posibilidades de producción muestra la cantidad máxima posible de dos bienes o servicios determinados (x, y) que una economía puede producir en un determinado periodo, con los recursos y tecnología que esta dispone. Estos gráficos se utilizan para representar conceptos económicos como son la escasez de recursos, el coste de oportunidad, las economías de escala y en este caso de la eficiencia productiva del conjunto de la economía.

Figura 1. Frontera de Posibilidades de producción



Fuente: Elaboración propia.

Como muestra la figura 1, cualquier punto situado por encima de la curva sería inalcanzable porque no se dispone de los recursos necesarios, y cualquier punto por debajo de la curva sería alcanzable pero ineficiente ya que no se estarían utilizando todos los recursos. Los únicos puntos eficientes se sitúan sobre la misma curva.

2.2 LA EFICIENCIA PRODUCTIVA

En la economía actual es importante el poder comparar empresas según su forma de emplear los recursos, contexto en el que se encuadra el concepto de la eficiencia productiva, también conocida como eficiencia técnica, al objeto de conocer las mejores prácticas.

2.2.1 Concepto y clases de eficiencia

El comportamiento optimizador es la base de la Teoría Economía, donde las empresas que maximizan sus beneficios se consideran empresas eficientes. Todas las empresas buscan maximizar su beneficio, sin embargo no todas lo consiguen. Para la maximización de beneficios, las empresas deben seguir las siguientes pautas:

- ✓ De entre todos los niveles de producción posibles, deben elegir el output que maximice el beneficio. Esto sucede cuando la empresa produce una cantidad determinada en la que el ingreso marginal se iguala al coste marginal.
- ✓ De todas las combinaciones de inputs posibles para obtener el nivel de output anterior, la empresa escogerá la combinación que minimice el coste de producción. Esto se consigue utilizando cantidades de cada factor variable en las cuales el valor del producto marginal de cada factor se iguale a su precio.
- ✓ La empresa debe producir con la cantidad mínima de recursos posibles.

De este modo pueden diferenciarse que existen tres tipos de eficiencia:

1. Se produce eficiencia de escala cuando una empresa está produciendo en una escala de tamaño óptima, que es la que le permite maximizar el beneficio.
2. La eficiencia asignativa también conocida como eficiencia de precio consiste en escoger entre las combinaciones de recursos y productos técnicamente eficientes aquellas que resulten menos costosas considerando los precios de los recursos. Ésta implica obtener el máximo de producto a partir de un coste determinado, reajustando la proporción en que se combinan los factores según sus precios y las productividades marginales.
3. Una empresa es técnicamente eficiente si la producción que se obtiene es la máxima posible con las cantidades de factores especificadas. Se refiere al uso adecuado de los factores de un punto de vista físico.

En la actividad real una empresa puede ser eficiente técnicamente y no necesariamente tener eficiencia de escala o asignativa, y viceversa.

2.3 LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA

La medición de la eficiencia se basa en la idea de comparar la actuación real de la empresa con respecto a un óptimo. Es difícil medir la eficiencia cuando el investigador no tiene un conocimiento perfecto del mundo en el que se desenvuelve la empresa y no conoce con exactitud ni la tecnología, ni algunas restricciones que pueden afectar a la obtención del máximo beneficio (Álvarez, 2001). Por lo tanto, lo más fácil para el investigador es comparar lo que hace la empresa con lo que hacen otras empresas del sector. Ésta fue la idea de Farrell (1957), que fue pionero en estudios de este campo. La gran aportación de Farrell fue determinar empíricamente un estándar de referencia, la frontera, con el que comparar las empresas para determinar si son eficientes o no. La eficiencia relativa mide la eficiencia de una empresa comparando su actuación con la de las “mejores” empresas observadas, que son las que definen la frontera eficiente.

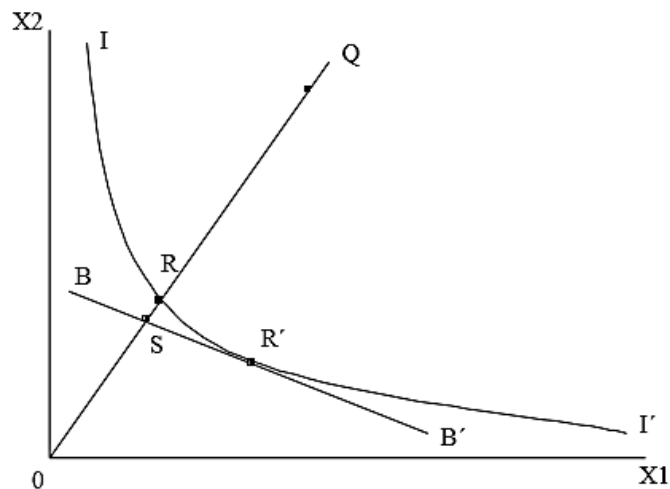
2.3.1 Las medidas de Farrell

El trabajo de Farrell (1957) contiene dos grandes aportaciones. Por un lado desarrolla un método para el cálculo empírico de esos índices y, por otro, separa los componentes técnico y asignativo de la eficiencia.

Farrell delimitó dos conceptos de eficiencia: eficiencia técnica y eficiencia precio. La primera la definió como la conseguida al producir lo máximo posible a partir de unos inputs dados y la segunda (eficiencia precio), entendió que la obtenía aquella unidad productiva que utilizara una combinación de inputs que, con el mínimo coste, alcanzara un output determinado a unos precios establecidos.

Farrell supuso una empresa que empleara dos factores para generar un output bajo rendimientos constantes a escala y conocimiento total de la función de producción.

Figura 2. La isocuanta unitaria



Fuente: Farrell (1957)

En el gráfico mostrado, la curva II' es la isocuanta unitaria. Ésta representa las combinaciones mínimas de inputs X_1 y X_2 necesarias para producir una unidad de producto, es decir, cualquier combinación de inputs de esta isocuanta será eficiente para producir una unidad de output.

De este modo, Q no sería eficiente ya que utiliza más recursos que R para obtener el mismo producto, sin embargo R sí sería eficiente (todo esto sin considerar el precio de los factores, los cuales fueron introducidos por Farrell en su trabajo al considerar la eficiencia asignativa). Desde este punto de vista la recta BB' refleja la relación existente entre los precios de los recursos mediante su pendiente. Así, R' sería la asignación eficiente desde el punto de vista de los precios y no R , puesto que las dos podrían ser eficientes técnicamente, pero solo R' puede ser adquirida a los precios establecidos con el mínimo coste posible.

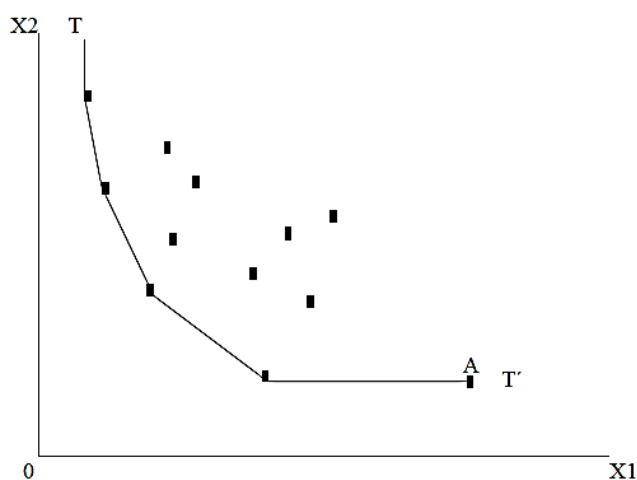
En este sentido la medición de la eficiencia precio o asignativa de la asignación de R vendría dada por OS/OR . Como Farrell afirma, una empresa será eficiente cuando lo sea desde la doble perspectiva técnica y asignativa. El concepto de eficiencia asignativa pierde significado preciso bajo condiciones de incertidumbre.

Finalmente Farrell hizo explícito el modo de medición de la eficiencia y su interpretación geométrica para el caso en el que la función de producción no fuera conocida. En este caso, obtuvo una expresión analítica de medida de la eficiencia relativa de diferentes unidades productivas bajo la hipótesis de convexidad de las isocuantas, rendimientos de escala constantes y pendiente negativa de la isocuanta. La convexidad de las isocuantas implica que si dos puntos son obtenibles en la práctica, entonces la combinación convexa de ambos

también. Los rendimientos constantes a escala, suponen la existencia de una relación invariable entre la modificación de inputs y la obtención de outputs, lo cual supone que los procesos representados por las combinaciones de inputs y outputs de dos puntos no interfieran entre sí.

En cualquier caso, Farrell especificó que en un conjunto de observaciones como el expuesto en la figura 3 (muestra diferentes combinaciones de factores utilizadas para generar una unidad de producto), la isocuanta eficiente sería la TT'.

Figura 3. Isocuanta eficiente



Fuente: Farrell (1957)

A continuación Farrell estimó oportuno explicar algunos matices de su modo de obtener índices de eficiencia. Determinó que era una medida relativa y que dependía del número de empresas incluidas en la comparación.

En cualquier caso, Farrell propuso una definición de eficiencia válida hasta hoy, también un modo para medirla y un método de aproximación empírica a la frontera de eficiencia cuando se desconoce la función de producción y lo único posible es utilizar las observaciones de los inputs empleados y outputs producidos.

Para ello existen dos criterios de clasificación de los métodos de análisis de eficiencia, que pueden clasificarse según su carácter paramétrico o determinístico. Los métodos paramétricos parten de la presunción de que la función de producción tiene una forma determinada, mientras que los determinísticos asumen que la distancia de la unidad analizada a la frontera es fruto de la ineficiencia.

Los modelos determinísticos son modelos matemáticos donde las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas, no contemplándose la existencia del azar ni el principio de incertidumbre. Los datos utilizados se supone que se conocen con certeza y se tiene toda la información necesaria para la toma de decisiones.

La inserción de mayor complejidad en las relaciones con una cantidad mayor de variables y elementos ajenos al modelo determinístico hará posible que éste se aproxime a un modelo probabilístico o de enfoque estocástico.

Los modelos estocásticos o probabilísticos son aquellos en los que al menos una variable del mismo es tomada como un dato al azar, incorporando así la incertidumbre, y las relaciones entre variables se toman por medio de funciones probabilísticas. Son utilizados para realizar grandes series de muestreos.

Cuadro 1. Los métodos de análisis de eficiencia

<i>MÉTODO ANALÍTICO</i>	<i>Determinísticos</i>	<i>Estocásticos</i>
<i>Paramétrico</i>	Programación matemática Paramétrica Análisis de frontera determinístico	Análisis estocástico de frontera
<i>No Paramétrico</i>	Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Análisis Envolvente de Datos Estocástico

Fuente: Hollingsworth (1999).

2.4 TIPOS DE FRONTERAS COMO ESTÁNDAR DE REFERENCIA PARA LAS EMPRESAS

La aproximación más simple a la medida de la eficiencia técnica son los índices de productividad parcial. La limitación de estos índices proviene de que las variaciones en los mismos pueden ser debidas a la mayor o menor eficiencia en el uso de un recurso determinado. Con el fin de superar esta limitación, Farrell (1957) planteó un método basado en la obtención de una función de producción frontera. Esta frontera representa las relaciones técnicas de producción y a través de la misma es posible estimar el output máximo que se puede obtener por cada unidad de producción. Las unidades que son técnicamente eficientes se sitúan en la misma frontera, mientras que las ineficientes se sitúan por debajo de la misma, ya que obtienen menos cantidad de output que el técnicamente posible.

Existen dos tipos de fronteras: las fronteras estocásticas y las fronteras de producción determinísticas.

2.4.1 Fronteras Estocásticas

Cuando se representa el proceso productivo de una empresa a través de una función de producción, habitualmente se le añade una perturbación aleatoria. Con ella se pretende recoger factores diversos que se resumen en lo que denominamos aleatoriedad. Estos factores hacen referencia a varias cuestiones como errores de medida a la hora de cuantificar las variables, variables omitidas en la especificación funcional que por sí solas no tienen una influencia importante pero sí de forma conjunta, y por último, elementos fuera del control de la empresa, que pueden hacer que circunstancialmente ésta obtenga mejores o peores resultados de los esperados.

Todos estos aspectos hacen que finalmente la frontera de producción tenga un carácter aleatorio. Es decir, aun cuando una empresa lleve a cabo el proceso productivo de forma eficiente, hay factores que no están bajo su control y que pueden hacer que el nivel de producción obtenido varíe. Este efecto puede producirse tanto en sentido positivo como negativo.

Admitir la naturaleza estocástica de la producción, es equivalente a suponer que el output está limitado superiormente por una frontera estocástica. La producción puede realizarse por la siguiente fórmula:

$$Y = f(x) + \varepsilon, \quad \varepsilon = v - u$$

Donde la perturbación aleatoria v es un término de error simétrico que con media 0, se supone independientemente distribuido. El término de error u se supone que se distribuye independientemente de v , y que es positivo.

La componente v representa para la empresa factores externos, es decir, que no son controlables, tales como el clima, entorno, etc. El componente u , es un término de error que recoge la distancia de cada empresa con su frontera estocástica, representando una medida de su ineficiencia técnica. Así quedaría la frontera de producción estocástica:

$$Y' = f(x) + v$$

2.4.2 Fronteras Determinísticas

Este tipo de fronteras atribuyen toda la desviación a la ineficiencia técnica y por este motivo son conocidas como determinísticas. El trabajo inicial de Farrell es un ejemplo de este tipo de fronteras. La fórmula sería la siguiente:

$$Y = f(x) - u$$

donde u es una perturbación aleatoria mayor o igual que 0.

Las fronteras determinísticas ignoran la naturaleza estocástica de la producción. No se tiene en cuenta que las empresas puedan verse afectadas por acontecimientos que no están bajo su control, al suponer que la distancia a la frontera es totalmente atribuible a la ineficiencia de la empresa.

2.5 EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)

Se trata de una herramienta de análisis económico cuantitativo válida para estudiar el desempeño de unidades productivas, sectores y países que procura constituirse en un instrumento superador del tradicional enfoque basado en el simple cálculo de indicadores de productividad parcial ya que posee la ventaja de facilitar un tratamiento multidimensional, tanto del lado desde el espacio de los insumos o factores como del de los productos con que se trabaje, sin que ello implique la necesidad de sistematizar y procesar múltiples indicadores entrecruzados.

2.5.1 Origen

La metodología del análisis envolvente de datos (DEA), ha sido tradicionalmente utilizada para la estimación de la eficiencia relativa de un conjunto de unidades productivas

El Análisis Envolvente de Datos fue propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) siguiendo principalmente los conceptos del trabajo seminal de Farrell (1957) y fue considerablemente empleada en las décadas posteriores.

Además de Farrell, existe otro amplio conjunto de autores que establecieron los cimientos que sirvieron de base al desarrollo posterior del DEA como por ejemplo Aigner y Chu (1968) y Afriat (1972), entre otros.

2.5.2 Concepto DEA

Es en origen un procedimiento no paramétrico y determinístico, que utiliza una técnica de programación lineal y que va a permitir la evaluación de la eficiencia relativa de un conjunto

de unidades productivas homogéneas. Puede destacarse entre los demás métodos no paramétricos por su mayor estandarización y porque permite considerar múltiples inputs y outputs.

El Análisis Envolvente de Datos es una técnica de medición de la eficiencia basada en la obtención de una frontera de eficiencia a partir de un conjunto de observaciones, sin necesidad de asumir ninguna forma funcional entre “input” y “outputs”.

Mediante la utilización de técnicas de programación lineal, el DEA compara la eficiencia relativa de un conjunto de unidades que producen “outputs” similares a partir de una serie de “inputs” comunes.

El análisis envolvente de datos nos brinda una perspectiva sistémica e integrada para estudiar, en forma comparada, el desempeño de las unidades de producción bajo análisis.

2.5.3 Descripción del modelo

Inicialmente, este modelo adopta como medida de eficiencia el ratio entre la suma ponderada de “inputs” y la suma de “outputs” de cada unidad de decisión (DMU) y utiliza modelos de optimización lineal para calcular las ponderaciones.

Mediante la utilización de técnicas de programación lineal, el DEA compara la eficiencia de un conjunto de unidades que producen outputs similares a partir de una serie de inputs comunes.

Para un conjunto de n unidades productivas que producen n inputs y s outputs, la eficiencia de la unidad i puede medirse de la siguiente forma (Charnes, 1959):

$$\text{Max } \frac{\sum_{r=1}^s U_{ri} Y_{ri}}{\sum_{h=1}^m V_{hi} X_{hi}}$$

sujeto a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s U_{ri} Y_{ri}}{\sum_{h=1}^m V_{hi} X_{hj}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n.$$

$$U_{ri}, V_{hi} \geq 0 \quad r = 1, \dots, s. \quad h = 1, \dots, m.$$

Donde:

Y_{ri} : Cantidad de output r producido por la unidad i .

U_{ri} : Ponderación asignada al output r .

X_{hi} : Cantidad de input h consumido por la unidad i .

V_{hi} : Ponderación asignada al input h.

DEA generaliza en cierto sentido la definición de productividad que muchas veces se utiliza, en la cual se define una entrada y una salida ponderada:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Suma ponderada de salidas}}{\text{Suma ponderada de entradas}}$$

Las entidades que son evaluadas con DEA se conocen como DMU (Decision Making Units), término que permite referirse a un grupo amplio de unidades organizacionales que pueden ser regionales de una organización, empresas, entes territoriales e incluso países.

Los comentarios realizados hasta ahora constituyen las pautas básicas del modelo original. Sin embargo, DEA es un cuerpo de conceptos y métodos que, en su estructura principal, puede sintetizarse en cuatro tipos básicos: CCR¹, BCC², multiplicativos y aditivos³. No obstante, sólo se comentarán aquellas extensiones que puedan tener alguna utilidad para el análisis posterior.

Otro método es el propuesto por Pastor (1994) y mejorado por Muñiz (1998). El método consta de dos etapas. En la primera se aplicaría el método DEA con todos los outputs pero sólo con inputs exógenos y después, para las unidades ineficientes, se elevarían los outputs hasta que se consideraran eficientes, descontando así el efecto negativo que para esas unidades de producción tendría el entorno desfavorable. En la segunda etapa se vuelve a aplicar DEA sobre las DMU iniciales más las modificadas, tomando todos los outputs y sólo los inputs controlables. Muñiz (1998) modificó el planteamiento de Pastor (1994) basándose en que la hipótesis de relación positiva entre inputs y outputs de DEA impedía que la propuesta de Pastor (1994) fuera válida. Partiendo de ese supuesto de relación positiva una unidad con buenas condiciones contextuales (y por tanto con inputs discrecionales elevados) tendría más posibilidades de ser evaluada como ineficiente y, por tanto, de que sus outputs se vieran corregidos al alza para convertirla en eficiente de cara a la implementación de la segunda etapa. Con lo cual una unidad con condiciones contextuales mejores que la media se vería beneficiada del incremento de output que, teóricamente, debería servir para compensarla

¹ Siglas de Charnes – Cooper - Rhodes.

² Siglas de Banker - Charnes – Cooper.

³ A pesar de existir diversas variantes del modelo, todas han coincidido en ofrecer un carácter determinístico (no estocástico). No obstante, autores como Banker (1996) o Simar (1996) comenzaron a introducir procedimientos de tratamiento estocástico del modelo mediante la utilización de Procesos Generadores de Datos (Simar (1996).

de su peor situación inicial. Como solución Muñiz (1998) propone introducir las variables exógenas en el modelo DEA con relación negativa con el output.

Una variante adicional que se utilizará es la desarrollada por Lovell y Pastor (1995), los cuales proponen un modelo DEA BCCp-O que incluye una modificación que convierte sus resultados en invariables respecto a las unidades en las que se midan las variables y frente a las traslaciones que se puedan efectuar a los inputs. Es decir, evita que la ordenación de la eficiencia de las DMU dada por DEA sea susceptible de variación ante cambios en las unidades en que se midan los inputs y los outputs. Para que esto sea así el modelo a utilizar tendrá que tener la siguiente concreción:

$$Max_{\lambda, \phi_0, S_{r+}, S_{i-}} \quad \phi_0 + \varepsilon \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_{i-}}{\sigma_{i-}} \right) + \varepsilon \sum_{r=1}^s \left(\frac{S_{r+}}{\sigma_{r+}} \right)$$

S.A

$$\sum_{j \in \bigcup_{k=1}^{K''} Dk} \lambda_j Y_{rj} - S_{r+} = \phi_0 Y_{ro}, \forall r : 1 \dots s$$

$$\sum_{j \in \bigcup_{k=1}^{K''} Dk} \lambda_j X_{ij} + S_{i-} = X_{ro}, \forall i : 1 \dots m$$

$$\sum_{j \in \bigcup_{k=1}^{K''} Dk} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, S_{i-}, S_{r+} \geq 0$$

donde σ_{i-} y σ_{r+} son las desviaciones típicas de los inputs y outputs respectivamente. El motivo de esta especificación del modelo radica en que la conversión de la medida de los inputs y outputs por cualquier multiplicador $\alpha > 0$ haría que las desviaciones típicas de los

datos fueran ahora $\alpha \sigma_{i-}$ y $\alpha \sigma_{r+}$ con lo cual en la función objetivo quedaría $\frac{\alpha S_{i-}}{\alpha \sigma_{i-}}$ y $\frac{\alpha S_{r+}}{\alpha \sigma_{r+}}$ lo

cual es exactamente lo que ya existía $\frac{S_{i-}}{\sigma_{i-}}$ y $\frac{S_{r+}}{\sigma_{r+}}$.

2.5.4 Orientación para medir la eficiencia

En la estimación de eficiencia existen dos orientaciones o enfoques diferenciados:

Orientación input. Consiste en minimizar el input manteniendo el output constante.

Orientación output. Se basa en alcanzar el máximo output manteniendo constantes los inputs.

La eficiencia técnica está orientada a la obtención del máximo output posible con unos inputs determinados, teniendo en cuenta las relaciones físicas de producción. La eficiencia asignativa en cambio se refiere a la asignación de los recursos teniendo en cuenta los precios de los factores, e implica que el valor del producto marginal de cada input debe ser igual a su precio.

2.5.5 Caracterización de los Modelos DEA

La metodología DEA presenta una serie de ventajas que lo han convertido en una técnica muy utilizada. Charnes, Cooper, Lewin y Seiford (1994) destacan como características importantes de DEA las siguientes tres:

1. “Caracteriza cada una de las Unidades mediante una única puntuación de eficiencia (relativa).
2. Al proyectar cada Unidad ineficiente sobre la envolvente eficiente destaca áreas de mejora para cada una de las Unidades.
3. La no consideración por DEA de la aproximación alternativa e indirecta de especificar modelos estadísticos y hacer inferencias basadas en el análisis de residuos y coeficientes de los parámetros”.

2.5.6 Ventajas e inconvenientes del DEA

Dentro de las ventajas cabe destacar:

- ✓ Se adapta al análisis de sectores que emplean en su proceso productivo múltiples inputs y generan varios outputs.
- ✓ Se ajusta a situaciones en las que los precios de factores y productos son desconocidos o difícilmente calculables,
- ✓ Ofrece una gran cantidad de información particularizada para cada DMU que puede ser empleada para establecer guías de actuación con la finalidad de mejorar la eficiencia de las unidades ineficientes.
- ✓ No exige del conocimiento previo de la función de producción sino, únicamente, de un conjunto de combinaciones de factores que generen cantidades de output.
- ✓ Además, DEA es una técnica no-paramétrica y, por tanto, no supone ninguna forma funcional de la relación entre los Inputs y los Outputs, ni supone una distribución de la ineficiencia (Banker, Gadh y Gorr, 1993).

Por otro lado los inconvenientes principales son:

- ✗ La exigencia de la homogeneidad de las unidades sometidas a análisis, necesaria para evitar que las ineficiencias de los centros sean detectadas por causa de cualquier factor no uniforme y que queda centrada en dos aspectos:
 1. Homogeneidad en la escala de producción.
 2. Homogeneidad en el uso de inputs y outputs y en las circunstancias que constituyen el ámbito de actuación de las unidades.
- ✗ La flexibilidad de la elección de las ponderaciones, además de ventaja, puede ser considerada como un problema sobre la base de la existencia de la posibilidad de que la evaluación de eficiencia de alguna unidad, algún output o input reciba una ponderación nula y, por tanto, no sean contemplados en el proceso de cómputo. Ello supondría que variables transcendentales para el sector pasaran desapercibidas al establecer conclusiones encaminadas a mejorar el modo de producción de los centros ineficientes o, incluso, a basar las mismas en variables secundarias.
- ✗ Las variables se deben escoger muy cuidadosamente ya que no existen test que estimen si los resultados son estables o podrían variar de manera significativa con la utilización de otro tipo de variables. Ello obliga a realizar estudios de sensibilidad mediante diferentes descripciones siempre y cuando los datos necesarios para ello sean accesibles.
- ✗ La fiabilidad de los resultados también depende de la relación existente entre el número de variables consideradas y el de unidades a analizar.
- ✗ Es un método determinístico, y con ello se supone que cualquier alejamiento de la frontera de una asignación de inputs y outputs se deberá únicamente a un comportamiento ineficiente.

En conclusión, la medición de la eficiencia técnica ha experimentado reveladores avances desde la primera visión de Farrell acerca de este análisis y se ha generalizado su utilización en diversos ámbitos. Se podría afirmar que los estudios de eficiencia tienen una gran utilidad, a pesar de que algunas veces resulte difícil conocer la naturaleza de la ineficiencia.

Cabe pensar que es posible afirmar que la técnica DEA sea lo suficientemente apropiada para ser utilizada en el ámbito del sector del transporte aéreo de pasajeros a tenor de las posibilidades que existen de minimizar sus inconvenientes, de las ventajas que ofrece sobre otro tipo de métodos de cuantificación de la eficiencia así como del uso que ha recibido para tal fin en trabajos con similares características al que aquí se pretende desarrollar.

3. EL TRANSPORTE AÉREO DE PASAJEROS

El transporte aéreo es entendido como el transporte de pasajeros, equipaje, carga y correo mediante la utilización de aeronaves, por separado o en combinación, a cambio de una remuneración o en alquiler; entendiéndose por aeronave toda construcción apta para el transporte de personas o cosas propulsado por motor, que debe su sustentación en vuelo principalmente a reacciones aerodinámicas ejercidas sobre superficies que permanecen fijas en determinadas condiciones de vuelo.

Al desarrollarse en el medio aéreo permite transportar sobre tierra y mar, pero se ve limitado por la necesidad de contar con costosas infraestructuras y por presentar un mayor coste económico que otros transportes.

Si bien una aerolínea o compañía aérea es una empresa que se dedica al transporte de pasajeros o carga, nuestro análisis se centra únicamente en las compañías aéreas de transporte de pasajeros. Éstas se caracterizan por estar sujetas a itinerarios, horarios y frecuencias, independientemente de la demanda que ostenten.

3.1. Breve historia

El transporte aéreo es la forma de transporte moderno que más rápidamente se desarrolló. Aunque los pioneros de la aviación fueron Orville y Wilbur Wright en Estados Unidos, no fue hasta después de la Primera Guerra Mundial cuando el transporte aéreo alcanzó un lugar destacado en todos los países.

El transporte aéreo es la modalidad más regulada. A raíz de la II Guerra Mundial, la mayoría de los países del mundo suscribieron el Convenio de Chicago en 1944, donde se sentaron las bases de la regulación del transporte aéreo. El transporte aéreo es el más seguro de todos los medios de transporte. Los adelantos de la navegación aérea, de las telecomunicaciones y de las facilidades tecnológicas han permitido que este sector haya progresado de un modo efectivo.

Después de la II Guerra Mundial los transportistas aéreos comerciales tomaron un mayor impulso cuando los propulsores de los aviones se hicieron más grandes y eficientes. Un avance importante tuvo lugar con la inauguración del avión a reacción para el transporte comercial. Aparte de los aviones supersónicos, un gran avance en los viajes aéreos fue la introducción en 1970 del Boeing 747, el llamado reactor Jumbo, que puede trasladar desde 360 hasta más de 500 pasajeros en vuelos regulares.

Cada vez existe mayor competencia en el mercado de transporte aéreo de pasajeros. Por un lado existen las compañías regulares la cuales son aerolíneas que realizan sus vuelos de forma regular. Por otro lado existe otro tipo de aerolíneas que realizan vuelos para sus clientes de forma puntual. Este tipo de compañías se denominan “chárter”. Así mismo las compañías aéreas regulares se han ido dividiendo en dos modelos diferenciados en las que conocemos como tradicionales y de bajo coste.

3.2. Compañías aéreas tradicionales

Las primeras compañías aéreas surgieron a finales de la Primera Guerra Mundial. Tras la puesta en marcha del primer servicio regular internacional, en 1919, los gobiernos se empezaron a plantear la libertad de establecer servicios de transporte aéreo en sus países, los Estados comprendieron la importancia estratégica de los productos que estas podrían proporcionar. De esta forma de conciencia nació el concepto de “compañías bandera” que identificaba la aerolínea nacional más distinguida de un país.

Las compañías aéreas tradicionales son todas las aerolíneas que no pertenezcan al sector de bajo coste. En España la mayor y más conocida compañía aérea tradicional es Iberia.

En general son compañías que se crearon con anterioridad a las compañías *low cost*, antes de los 90, que no han efectuado todavía los cambios estratégicos correspondientes con el fin de transformar su modelo de negocio en un modelo de operación recién desarrollado como es el del bajo coste.

En el mercado aéreo actual, de muy alta competitividad, las compañías aéreas tradicionales procuran lograr ventajas competitivas aproximando su modelo de negocio al de las *low cost*, a través de técnicas similares como la reducción de sus costes, incremento de la productividad y diferenciación del producto (Rey e Inglada, 2006).

Estas compañías, además de reducir costes, tratan de compensar el estancamiento en ese mercado fortaleciendo su característica de compañías de red y aumentando las líneas de largo radio.

En un principio este tipo de compañías pertenecían al Estado, pero a mediados del siglo XX y con la puesta en marcha de la liberalización y desregulación aérea, la mayoría de las empresas aéreas se privatizaron por lo que quedaba anulada toda influencia del estado en la prestación de sus servicios.

Una de las características más importantes de las compañías tradicionales es el desarrollo de sus operaciones centro-radial, concentrando rutas en un centro distribuidor desde donde se

conecta con el resto de destinos por lo que los tiempos de inmovilización de las aeronaves son bastante altos. Estas compañías establecieron sofisticadas técnicas de gestión de reservas, disponibilidad y determinación de tarifas con el fin de ofrecer productos diferenciados y máximos ingresos. Además, perfeccionan su oferta con servicios adicionales como facturación express, salas VIP, billetes en papel y catering gratis a bordo. Tienen flotas compuestas por diferente tipo de aeronaves y con asientos pre-asignados por diferentes clases (estándar, business y primera). Realizan todo tipo de rutas, largas, medias y cortas ofreciendo también vuelos con conexión.

En Europa, Imperial Airways fue la primera compañía aérea comercial británica en la que se reagruparon todas las compañías inglesas instituidas directamente por el gobierno. En Alemania fue Lufthansa la compañía que agrupó también a todas las demás alemanas. De la fusión de Aéropostale, Farman y Air Orient nace Air France, compañía más importante de Francia. En Holanda fue KLM y en Bélgica SNETA las pioneras. De igual manera en el resto de países europeos nacieron otras compañías.

Un aspecto destacado en la industria del transporte aéreo europeo con respecto a este tipo de aerolíneas es la creación de alianzas. Una alianza aérea es una cooperación de diversas compañías aéreas manteniendo su autonomía jurídica (Meissner, 2008). Estas, lideradas por las más grandes, tienen como objetivo garantizar una cobertura mundial de destinos eficiente, coordinando la operación de los diversos aliados que forman parte del grupo. Actualmente las tres alianzas más importantes y en las que están integradas las principales aerolíneas mundiales son Oneworld, Star Alliance y Skyteam.

Cuadro 2. Datos comparativos de turistas. Año 2014

LLEGADAS DE TURISTAS INTERNACIONALES				
País	Millones		Variación (%)	
	2013	2014	2013	2014
Francia	83,6	83,7	2,0	0,1
EE UU	70,0	74,8	5,0	6,8
España	60,7	65,0	5,6	7,1
China	55,7	55,6	-3,5	-0,1
Italia	47,7	48,6	2,9	1,8
Turquía	37,8	39,8	5,9	5,3
Alemania	31,5	33,0	3,7	4,6
Reino Unido	31,1	32,6	6,1	5,0
Federación	28,4	29,8	10,2	5,3
México	24,2	29,1	3,2	20,5

Fuente: Organización Mundial del Turismo.

Nuestro país es además el segundo país del mundo y el primero de Europa en volumen de ingresos procedentes del turismo internacional, con una cifra superior a los 65.000 millones de dólares. En este concepto solo es superada por EE.UU., que ingresó 177.000 millones. A España le siguen China, Francia, Macao, Italia, Reino Unido, Alemania, Tailandia y Hong Kong.

3.3. Las compañías aéreas de bajo coste

A principios de los noventa surgió un nuevo modelo de aerolínea regular, que ofrecen los vuelos a un precio menor que las compañías regulares tradicionales, a costa de suprimir ciertos servicios que normalmente eran ofrecidos, o cobrar por estos servicios. Esta aparición de nuevas compañías fue fruto de la liberalización del transporte aéreo a nivel europeo, mediante la cual se eliminaron las restricciones existentes sobre las compañías de un país para operar en vuelos con origen y destino en un tercer país. Con ello se constituye un escenario en el cual se permiten las operaciones domésticas a cargo de una compañía de un tercer país europeo. El establecimiento de la liberalización ha permitido la entrada a nuevas compañías en el mercado europeo, aportando consigo una mayor competencia entre aeropuertos y

compañías tradicionales quienes se han visto obligadas a reducir sus costes y a realizar unos servicios más eficientes.

Se introdujo en la industria el criterio de perseguir la máxima reducción posible del coste de las operaciones, con el fin de ofertar desplazamientos a las menores tarifas posibles, objetivo que se consiguió simplificando las tareas del proceso de producción y el uso más intensivo de los factores de producción.

Para poder ofrecer a los clientes tarifas de vuelo más bajas que las aerolíneas tradicionales, las compañías aéreas de *low cost* deben que llevar a cabo una estrategia distinta a la que se había practicado anteriormente.

Viajar en avión ya no es un privilegio. Anteriormente sólo podían realizar este tipo de viajes las personas con mayor poder adquisitivo, pero la realidad ha cambiado y hoy en día el avión es un medio de transporte disponible para casi cualquier persona.

El transporte de larga distancia es un sector complicado de asumir por las *low cost*, ya que para realizar este tipo de traslados se requiere de necesidades que este modelo no asume, como la utilización de ciertos servicios complementarios, que cambiarían las características de este tipo de compañías.

La duración y la frecuencia de los viajes también han cambiado de forma contundente. El viajero realiza un mayor número de desplazamientos, aunque las estancias son más cortas. Los consumidores gastan de una forma más inteligente y valoran con más detalle los aspectos que conforman el sector turístico, en función de lo que se les ofrece están dispuestos a pagar una cantidad u otra. Esto presenta un gran estímulo a la demanda, a medida que se abren nuevas rutas y mercados regionales.

3.3.1. El modelo de negocio de las compañías de bajo coste

Su modelo de negocio es se basa en la idea de intentar completar los aviones y optimizar la eficiencia para reducir los costes. Para reducir los costes, las compañías *low cost* optaron por suprimir la gratuidad algunos servicios como por ejemplo las bebidas de cortesía, comida a bordo, equipaje facturado, etc. Esto reduce notablemente los costes y repercute en un precio menor final del pasaje.

Las principales medidas que comenzaron a implantar las compañías de bajo coste fueron tales como:

- El sistema de *yield management* sencillo. Este sistema utiliza una política de precios que varía en función de la demanda y del momento en el que se realiza la compra del

billete. (Alcázar, 2004). Para aprovechar al máximo este sistema, se estudia el comportamiento de los consumidores para conocer tanto los hábitos como las necesidades de los consumidores, y así se maximiza el beneficio unitario por pasajero.

- Utilización de aeropuertos secundarios, para ahorrar en tasas, ya que este tipo de aeropuertos exigen unas tasas aeroportuarias más bajas e incluso, para poder disfrutar de ayudas financieras de las instituciones públicas.
- Reducción de los costes de personal, empleando tripulaciones con salarios competitivos y una alta productividad. A diferencia de las compañías aéreas tradicionales, las compañías *low cost* no tienen estructuras laborales tan rígidas. El personal de tripulación suele volver al origen del primer vuelo a lo largo del día.
- Evitar comisiones de intermediarios que incrementen los gastos. Las compañías *low cost* ya no venden sus billetes a través de agencias de viajes como hacen las compañías tradicionales, sino que asumen las ventas a través de sus páginas web de internet principalmente, también lo hacen por teléfono y en algunos casos en los mostradores del aeropuerto.
- Estandarización de la flota para un mantenimiento más barato de las aeronaves y una formación de la tripulación menos costosa.
- Reducción de los costes de impresión, puesto que el pasajero recibirá un localizador de vuelo y un e-mail en lugar de una carta con el billete físico.
- Suprimen los servicios a bordo gratuitos habituales en las aerolíneas tradicionales (comidas, bebidas de cortesía, equipaje facturado...). No se trata de no ofrecerlos, sino que deberán ser abonados.
- Ingresos adicionales a través de la diversificación de negocio. Cada día las compañías aéreas *low cost* ofrecen más servicios no gratuitos tales como, alquiler de coches, alojamiento, seguro de viaje, reserva de asiento, embarque prioritario, etc.

Todas estas medidas son algunas de las políticas que practican las compañías *low cost* y que podrían justificar el porqué de unos precios de pasajes más baratos respecto a las compañías aéreas tradicionales.

3.3.2. Consecuencias del fenómeno *low cost* en Europa

Este modelo contribuye en gran medida a mejorar la movilidad de los ciudadanos de toda Europa. El aumento del número de rutas operadas, número de aviones y mayor conexión con

diversos destinos confirma que este tipo de compañías han encontrado su lugar en el mercado de la aviación de la Unión Europea.

La entrada de este tipo de compañías en el mercado europeo, ha tenido dos consecuencias importantes:

1. Ha fomentado la competencia en el abastecimiento de servicios de transporte aéreo.
2. Ha impulsado el desarrollo de los aeropuertos secundarios ya que estas aerolíneas operan en aeropuertos alejados tienen bastante poder de negociación con las autoridades locales, al dar uso a la infraestructura existente y al atraer turistas a otras localidades que no serían visitadas si los aeropuertos no estuvieran situados cerca.

Por otro lado, el modelo de bajo coste se ha difundido en el sector turístico. Ha beneficiado a los consumidores y ha impulsado el turismo, que ha experimentado una fuerte transformación, con la minimización de costes. Gracias a la implantación de este modelo de negocio, las ciudades y los destinos europeos se hallan más cerca y asequibles para todo tipo de personas. Esta cercanía favorece la integración europea, el crecimiento económico y el empleo. Se puede entender como la incorporación de precios dinámicos frente a los estáticos, la reducción de los costes de los procesos productivos, del traslado al internet y la expansión del mismo y de la aplicación de políticas incentivando el marketing para favorecer la comunicación.

3.4. El transporte aéreo en España

El rápido desarrollo del transporte aéreo en nuestro país, en paralelo con lo que ocurre en los países más avanzados de nuestro entorno, es uno de los elementos más característicos de la evolución reciente del sistema de transporte en España. El crecimiento en los niveles de renta, unido a cambios en la organización espacial de las actividades económicas ha contribuido a incrementar la demanda de transporte aéreo tanto de personas como de mercancías. El espectacular crecimiento del tráfico aéreo de pasajeros en los últimos años, y en menor medida el de mercancías, resulta muy evidente. El Ministerio de Fomento prevé incrementos aún superiores para los próximos años. Este crecimiento es sensiblemente más rápido en los vuelos internacionales, como reflejo de la creciente integración de España en la economía europea y global.

España ocupó en 2014 el tercer lugar del mundo en llegadas de turistas internacionales, con 65,0 millones, superada únicamente por Francia y EE.UU., y seguida de China, Italia, Turquía, Alemania, Reino Unido, la Federación Rusa y México.

El transporte aéreo es esencial para el turismo, un eje estratégico de nuestra economía por su contribución a la riqueza y al empleo, ya que casi el 80% de los turistas llegan a nuestro país en avión. El turismo es un sector clave en nuestra economía, pues representa el 11% del PIB y da empleo a más de dos millones de personas.

Los aeropuertos de Madrid y Barcelona mantienen su preeminencia (con aproximadamente 50 y 30 millones de pasajeros por año respectivamente) y experimentan fuertes incrementos de pasajeros, al reforzarse su papel como aeropuertos que actúan como conexión de las redes de tráfico aéreo para la coordinación de vuelos desde y hacia otros aeropuertos internacionales. A esta función, tradicionalmente desempeñada por Madrid se ha incorporado también Barcelona.

Los aeropuertos que canalizan los principales flujos turísticos captan más de la mitad del tráfico. Deben su incremento al tráfico internacional de pasajeros, cuyo objetivo es disfrutar del turismo de playa en destinos como Alicante, Cádiz o Málaga, o solamente buscan trasladarse de la península con las diferentes islas o desplazarse desde el centro peninsular a la periferia.

Además de éstos, sólo tienen un tráfico significativo algunos aeropuertos ligados a importantes áreas metropolitanas, en los que el grueso del tráfico es nacional como Bilbao, Valencia, Sevilla, Santiago de Compostela o Zaragoza. La evolución de cada uno de estos aeropuertos puede relacionarse con la situación económica de su región y con la existencia o no de modos de transporte alternativos de calidad con el resto de España.

4. ANÁLISIS EMPÍRICO

4.1. Selección de la muestra.

El estudio tiene por objetivo evaluar el desempeño de las compañías aéreas en relación a su gestión operacional analizando la eficiencia técnica en la prestación del servicio. La muestra se compone de diez unidades de decisión divididas en dos bloques (Cuadro 3) cuyo perfil (Cuadro 4) recoge la información necesaria para cumplir la condición de homogeneidad que requiere el método DEA.

Cuadro 3. Aerolíneas españolas seleccionadas

Compañías tradicionales	Compañías <i>low cost</i>
<ul style="list-style-type: none"> ○ IBERIA LÍNEAS AÉREAS DE ESPAÑA S.A OPERADORA ○ SWIFTAIR S.A ○ ALBA STAR S.A ○ WAMOS AIR S.A 	<ul style="list-style-type: none"> ○ VUELING AIRLINES S.A ○ AIR EUROPA LÍNEAS AÉREAS S.A ○ VOLOTEA S.A ○ AIR NOSTRUM ○ CANARY FLY S.L ○ EVELOP AIRLINES

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4. Perfil de la muestra

Tipo de actividad	Transporte aéreo de pasajeros
Zona	España
Forma jurídica	Sociedad anónima y limitada
Último año de cuentas disponibles	2014

Fuente: Elaboración propia.

La muestra seleccionada ha sido facilitada por la base de datos SABI. Esta opera con texto completo en línea, con información de más de 2.000.000 de empresas en España, que facilita su búsqueda por distintos criterios (nombre de la empresa, CIF, localización, actividad, datos financieros, localización, etc.). Permite análisis detallados, estadísticos y comparativos de empresas y grupos de empresas, así como la obtención de gráficos ilustrativos de los balances

y cuentas de resultados. Ello proporciona el seguimiento de la evolución financiera de las empresas en relación a sus competidores, así como los análisis del entorno de mercado y la investigación económica en general. Puede usarse también como directorio de empresas. La muestra escogida coincide con la población. Todas son compañías tienen sede en España y son sociedades anónimas o limitadas activas en el periodo 2014.

El reducido tamaño de la muestra es una limitación para el análisis. El estudio empírico realizado es sólo una aproximación al uso de estas metodologías. Se podría ampliar en futuros trabajos, incluyendo un mayor número de inputs y outputs, así como un mayor número de aerolíneas en la muestra (incorporando empresas internacionales). Con ello obtendríamos un análisis de eficiencia más robusto.

4.2. Consideraciones sobre los modelos utilizados

Resolveremos el programa lineal propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) bajo la hipótesis de rendimientos constantes a escala (CCR), lo que nos permitirá conocer el nivel de eficiencia con el que las aerolíneas utilizan los inputs en su proceso productivo mediante la definición de la eficiencia técnica global. Posteriormente, haremos uso del modelo desarrollado por Banker, Charnes y Cooper (1984) bajo la hipótesis de rendimientos variables a escala (BCC), con la finalidad de calcular la eficiencia técnica pura. Esto a su vez nos permitirá a través del cociente con la anterior obtener la eficiencia de escala. El modelo CCR compara las DMU's ineficientes con las eficientes de diferentes tamaños, mientras que el modelo BCC las compara con las de similar tamaño.

En ambos modelos se ha escogido la orientación a output o maximización del output, puesto que cada compañía persigue la maximización de ventas. Se proporcionarán los resultados obtenidos para el conjunto de la muestra, tras lo cual se analizará la eficiencia de las compañías.

Además de las características enunciadas anteriormente, Charnes, Cooper, Lewin y Seiford (1994) aportan otras peculiaridades de DEA como son, por ejemplo, la posibilidad de ajustarse a variables exógenas e incorporar variables categóricas.

Los modelos de Análisis Envolvente de Datos pueden ser clasificados, en función de:

- El tipo de medida de eficiencia que proporcionan: modelos radiales y no radiales
- La orientación del modelo: Input orientado, Output orientado o Input-Output orientado.
- La tipología de los rendimientos a escala que caracterizan la tecnología de producción, entendida ésta como la forma (procedimientos técnicos) en que los factores productivos

(Inputs) son combinados para obtener un conjunto de productos (Outputs), de tal forma que esa combinación de factores puede caracterizarse por la existencia de rendimientos a escala: constantes o variables a escala.

4.3. Selección de las variables

Los inputs y outputs seleccionados se recogen en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Resumen inputs y outputs

Inputs	Outputs
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de la flota • Total de personal 	<ul style="list-style-type: none"> • Pasajeros transportados en el periodo

Fuente: Elaboración propia.

Los inputs son los recursos utilizados por cada compañía para poner en operación el servicio. Estos son principalmente las aeronaves, pero ya que cada compañía utiliza varios modelos diferentes de aeronaves, se considera el número total de asientos entre todas las aeronaves. La capacidad total de la flota de cada compañía ha sido consultada en el sitio web oficial de cada aerolínea, puesto que cada compañía dispone de diferentes modelos de aeronaves, han sido sumados los asientos totales de cada uno.

Para la obtención de datos se han presentado algunas dificultades a la hora de buscar el número total de pasajeros transportados y el número total de la flota de cada aerolínea, puesto que cada compañía no especifica ciertos números en sus balances y que utilizan diferentes tipos de aeronaves. Se ha tratado de conseguir el número exacto de asientos disponibles por cada compañía buscando cuantos modelos de cada avión tienen operativos y buscando información sobre cada modelo de aeronave. Una vez obtenido el número de asientos disponibles para pasajeros de cada aeronave se han sumado para obtener el total de asientos disponibles.

Además de las aeronaves es necesario el personal para operar el vuelo, administrar la compañía y hacer que el servicio funcione correctamente. Por esto, se ha seleccionado como input también el número total de personal empleado de cada aerolínea. Los datos del número total de empleados de cada compañía aérea han sido obtenidos de la base de datos SABI. Se consideran los datos disponibles del año 2014.

Por otro lado escogemos como output el número total de pasajeros transportados en el período. Estos datos han sido extraídos del Informe Anual de 2014 de Aena y del Dossier de

Coyuntura de las Compañías en el Mercado aéreo en España, de Enero a Diciembre de 2014 del Ministerio de Fomento.

Una vez aplicados los criterios mencionados y completada la búsqueda de dicha información obtenemos el siguiente cuadro de datos:

Cuadro 6. Valores de inputs y outputs. Año 2014

Compañía	Capacidad flota (I)	Total personal (I)	Pasajeros (O)
Iberia Líneas Aéreas De España SA Operadora	17.959	16.792	11.053.000
Air Europa Líneas Aéreas SA.	9.248	3.160	9.703.057
Vueling Airlines, S.A	18.780	2.506	18.471.000
Air Nostrum Líneas Aéreas Del Mediterráneo S.A	3.240	1.456	3.874.977
Volotea S.A	1.875	342	1.740.000
Swiftair S.A	1.620	527	1.524.000
Evelop Airlines S.L	1.422	189	10.625.869
Alba Star S.A	680	55	400.000
Wamos Air S.A	2.480	191	3.255.375
Canary Fly S.L	318	113	127.380

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7. Estadísticos descriptivos de las variables del modelo de eficiencia

	Capacidad flota (asientos)	Total personal (trabajadores a tiempo completo)	Pasajeros (nº unidades)
Máximo	18.780	16.792	18.471.000
Mínimo	318	55	127.380
Media	5.762,20	2.533,10	6.077.465,80
Desviación Estándar	7.103,08	5.128,06	6.075.346,04

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 7 resume las diferencias de inputs y outputs, en unidades, de la muestra. El máximo de capacidad de flota corresponde a Vueling Airlines, S.A. con 18.780 asientos y el mínimo a Canary Fly S.L con 318. La compañía que tiene mayor número de personal empleado a tiempo completo es Iberia con 16.792 trabajadores y la que menos Alba Star con 55. Por su

parte la aerolínea que traslada mayor número de pasajeros es Vueling, con 18.471.000 pasajeros transportados en 2014, y Canary Fly, con 127.380 pasajeros, es la que menos transportó en el período.

4.4.Resultados

El software informático DEA Solver ha sido el utilizado para el cálculo de índices y resultados sobre el análisis envolvente de datos.

De los valores obtenidos en los cuadros de resultados, se entienden como eficientes aquellas compañías cuya puntuación sea igual a 1, y como ineficientes las que su puntuación se acerca a 0.

Cuadro 8. Resultados de eficiencia técnica global: Modelo CCR

Posición	Nombre DMU	Valor eficiencia
1	Evelop Airlines	1
2	Wamos Air	0,30315519
3	Air Nostrum Líneas Aéreas Del Mediterráneo	0,16005132
4	Air Europa Líneas Aéreas	0,14040931
5	Vueling Airlines	0,13162245
6	Alba Star	0,1293584
7	Swiftair	0,12589402
8	Volotea	0,124189
9	Iberia Líneas Aéreas De España Operadora	0,0824
10	Canary Fly	0,0536

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el modelo CCR, sólo una de las 10 compañías sometidas a análisis es eficiente. Sin embargo, utilizando el modelo BCC (Cuadro 9), las aerolíneas que resultan 100% eficientes son tres. Comparando ambos modelos, se observa que con el modelo CCR sólo es eficiente un 10% del total de la muestra, mientras que con el modelo BCC el porcentaje se sitúa en un 40%.

Cuadro 9. Resultados de eficiencia técnica pura: Modelo BCC

Posición	Nombre DMU	Valor Eficiencia
1	Vueling Airlines	1
1	Evelop Airlines	1
1	Alba Star	1
4	Canary Fly	0,99977265
5	Air Europa Líneas Aéreas	0,68510324
6	Iberia Líneas Aéreas De España Operadora	0,61066499
7	Air Nostrum Líneas Aéreas Del Mediterráneo	0,33849886
8	Wamos Air	0,30616806
9	Volotea	0,16065581
10	Swiftair	0,14222578

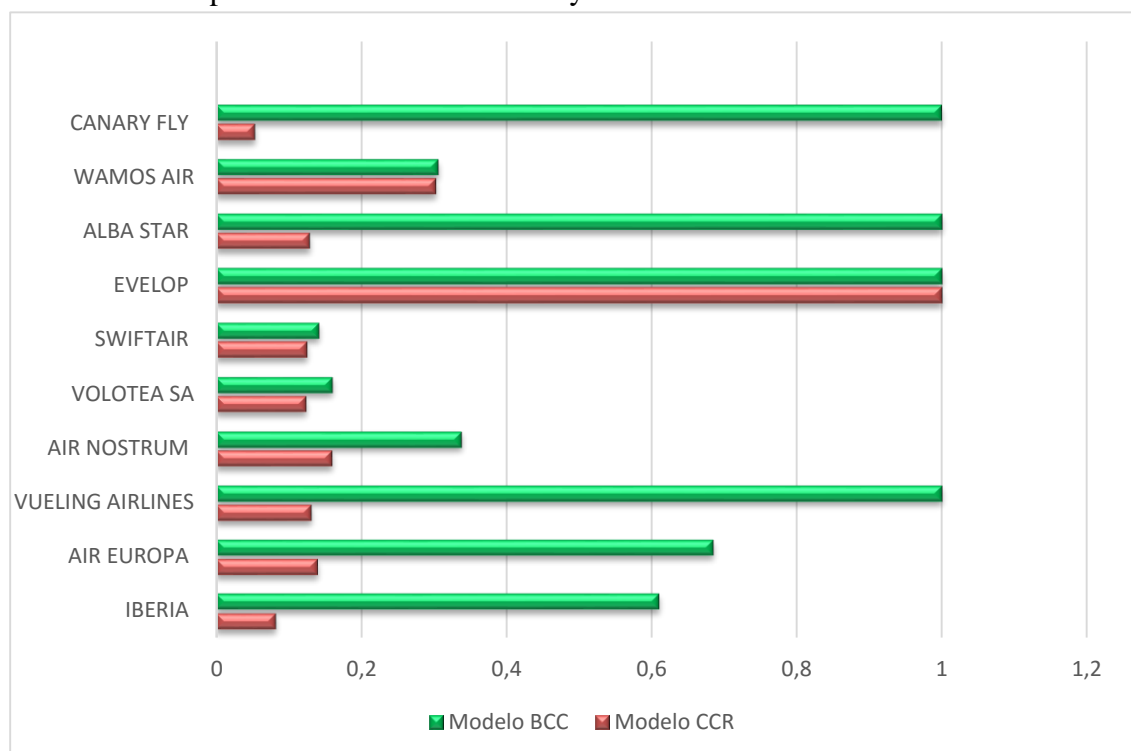
Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos aplicando el modelo BCC la media de eficiencia entre las seis compañías *low cost* es de 0,6973, mientras que la media de las cuatro tradicionales es de 0,5147. Se puede afirmar que según los resultados de nuestro análisis utilizando este modelo, la media de eficiencia de las compañías *low cost* es un poco superior a la de las aerolíneas tradicionales.

Por otro lado, la media de la eficiencia obtenida utilizando el modelo CCR de las compañías *low cost* es 0,2683, siendo las de las tradicionales también un poco inferior en este modelo con una media de 0,1602.

En general, se aprecia que en los dos modelos las compañías *low cost* son un poco más eficientes que las tradicionales. Esta es la comparativa que buscábamos obtener con nuestro análisis empírico, y se demuestra con resultados que el modelo de negocio de bajo coste resulta más eficiente.

Gráfico 1. Comparativa de resultados BCC y CCR



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el Gráfico 1, la única compañía que es eficiente en los dos modelos es Evelop, las demás son eficientes en sólo uno de los modelos o en ninguno de ellos.

Por último, en el cuadro 10 se analiza la eficiencia de escala donde solo una aerolínea resulta eficiente.

Cuadro 10. Resultados de Eficiencia de escala

Posición	Nombre DMU	Valor Eficiencia
1	Evelop Airlines	1
1	Wamos Air	0,99015942
1	Swiftair	0,88517018
4	Volotea	0,77301277
5	Air Nostrum Líneas Aéreas Del Mediterráneo	0,47282675
6	Air Europa Líneas Aéreas	0,2049462
7	Iberia Líneas Aéreas De España Operadora	0,13487459
8	Vueling Airlines	0,13162245
9	Alba Star	0,1293584
10	Canary Fly	0,05361768

Fuente: Elaboración propia.

Como puede apreciarse de los resultados obtenidos en el análisis, Evelop es la que destaca por ser eficiente en los diferentes tipos de eficiencia medidos. Esta compañía pertenece al Grupo turístico Barceló. Opera en vuelos sobre todo turísticos hacia destinos como Cancún, Punta Cana o La Habana. Este tipo de destinos son muy solicitados por las agencias de viajes, así pues, esta compañía realiza los vuelos para la agencia turística y así un porcentaje muy alto de los viajes, se realiza de modo que el avión viaje completo. Por esto y por sus reducidos precios a destinos tan solicitados puede deberse su perfecta eficiencia.

A continuación se calculan los promedios de eficiencia (Cuadro 11) y se consideran las razones por las que existe ineficiencia o los factores que le afectan a la eficiencia técnica.

Cuadro 11. Valores descriptivos de eficiencia técnica, eficiencia pura y eficiencia de escala

	Eficiencia técnica global	Eficiencia pura	Eficiencia de escala
Número de DMU	10	10	10
Máximo	1	1	1
Mínimo	0,053	0,142	0,054
Media	0,2250	0,624	0,477

Fuente: Elaboración propia.

El nivel medio de eficiencia técnica es del 22,5%, por lo tanto ocho compañías se encuentran por debajo de la media. El promedio de eficiencia pura se valora en un 62,4%, lo que significa que un 37,6% de la ineficiencia es debida a una combinación no óptima de los recursos disponibles. El índice de eficiencia de escala promedio es del 47,7% por lo que se considera que el 42,3% de la ineficiencia es causado por el tamaño de la empresa.

4.5. Grupos de Referencia

Los grupos de referencia son una herramienta del análisis DEA de la que se puede obtener información sobre qué DMU resulta eficiente y por tanto puede servir como referencia para aquellas que no lo son, con el objetivo de mejorar su eficiencia. Sólo incorpora aquellas unidades con valores distintos de cero. Si la DMU es eficiente el programa no puede compararla con ninguna más, así que la relaciona con ella misma.

Con esta herramienta de análisis además de extraer la información relacionada con las compañías de referencia, también se puede conocer el grado de importancia de cada DMU en la constitución de esos grupos de referencia.

Cuadro 12. Referencias

Posición	Nombre DMU	Valor Eficiencia	Grupos de referencia
1	Vueling Airlines	1	Vueling 1
1	Evelop Airlines	1	Evelop 1
1	Alba Star	1	Alba Star 1
4	Canary Fly	0,99977265	Canary Fly 1
5	Air Europa Líneas Aéreas	0,68510324	Vueling 0,459, Evelop 0,5491
6	Iberia Líneas Aéreas De España	0,61066499	Vueling 0,9527, Evelop 0,0474
7	Air Nostrum Líneas Aéreas Del Mediterráneo	0,33849886	Vueling 0,1047, Evelop 0,8953
8	Wamos Air	0,30616806	Vueling 0,0009, Evelop 0,9991
9	Volotea	0,16065581	Vueling 0,0261, Evelop 0,9739
10	Swiftair	0,14222578	Vueling 0,0114, Evelop 0,9886

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en el apartado anterior, siete de las diez aerolíneas estudiadas son ineficientes, así se procederá a comparar cada una con aquellas que resulten eficientes. Las aerolíneas eficientes se comparan con ellas mismas, como por ejemplo Vueling, y las compañías ineficientes son comparadas con las eficientes, como por ejemplo, Volotea es comparada un 2% con Vueling y un 98% con Evelop, destacando de nuevo, en este caso en su papel de referente.

5. CONCLUSIONES

El sector aéreo, en general, se encuentra en situación de cambio. Los avances en la tecnología y el proceso de liberalización del transporte aéreo han hecho posible la oferta de mejores servicios a un precio más asequible para todas las personas con la entrada de nuevas compañías al mercado europeo y sus nuevos modelos de negocio. De esta manera se ha fomentado la competencia en el sector del transporte aéreo de pasajeros.

En Europa las compañías aéreas *low cost* se han convertido en uno de los fenómenos más importantes e innovadores, no sólo como medio de transporte sino también a nivel turístico. El turismo evoluciona hacia este nuevo modelo de negocio y los profesionales del sector deben trabajar con el objetivo de desarrollar productos adaptados a la nueva demanda y a las necesidades de los viajeros.

Las compañías tradicionales se han visto afectadas por la presencia de este nuevo modelo y han implantado estrategias para crecer en rentabilidad y competitividad liderando alianzas con otras sociedades y con procesos de establecimientos de fusión y creación de empresas, buscando así un equilibrio económico distinto al clásico, excluyendo toda actividad no rentable por sí misma para centrarse en productos menos vulnerables a los que establecen las compañías de bajo coste.

En cuanto al análisis realizado, después de aplicar los diferentes modelos e interpretar los resultados, se puede afirmar que las compañías *low cost* realizan su actividad de una forma más eficiente que las compañías tradicionales, según las variables y muestra seleccionadas. Así pues, estas compañías suponen una amenaza para las compañías tradicionales, por esto cada vez es mayor la aproximación de estrategias entre compañías tradicionales y compañías de bajo coste en traslados de corto y medio radio (realizando la misma ruta) ya que las compañías tradicionales están optando también por suprimir los servicios complementarios que antes ofrecían, creando similitudes entre precios de ambas compañías. Por esto se ha de tener en cuenta que, a pesar de que las compañías aéreas de bajo coste tienen fama por sus precios bajos realizando la misma ruta que las compañías tradicionales, en ocasiones puede ser a una tarifa bastante parecida, gracias a los recargos extras que cobran las *low cost* por servicios no incluidos.

Este tipo de análisis ayuda a la gestión operacional de cada compañía. Permite observar si la empresa está utilizando sus recursos de manera eficiente y además, en caso contrario podría

conocerse la causa de ineficiencia con vistas a enfocar el modelo con nuevas estrategias que permitan subsanar la mala asignación de recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- AENA (2010). *Memoria 2014*. Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea. Disponible en:
http://www.aena.es/csee/ccurl/408/810/150506%20Memoria_Aena_031%20FINAL%20WEB.pdf [consultado el 17/04/2016].
- Afriat, S.N. (1972): 'Efficiency estimation of production functions', *International Economic Review*, 13(3), 568-598.
- Aigner, D.J. y Chu, S.F. (1968): 'On Estimating the Industry Production Function', *American Economic Review*, 58(4), pp. 826-839.
- Alcázar, P. (2004): 'EasyJet: A su imagen y semejanza', *Emprendedores*, 87, diciembre.
- Álvarez Pinilla, A. (coord.), (2001). *'La medición de la eficiencia y la productividad'*, Madrid: Editorial Pirámide.
- Banker, R. D., Charnes, A. y Cooper, W.W. (1984): 'Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis', *Management Science*, 30 (9), pp. 1078-1092.
- Banker, R.D., Gadh, V.M. y Gorr, W.L. (1993): 'A Monte Carlo Comparison of Two Production Frontier Estimation Methods: Corrected Ordinary Least Squares and Data Envelopment Analysis', *European Journal of Operational Research*, 67(3), pp. 332-343.
- Banker, R. (1996): 'Hypothesis tests using DEA', *Journal of productivity analysis*, 7, pp. 139-159.
- Charnes, A., Cooper, W.W. y Rhodes, E. (1978): 'Measuring the efficiency of decision making units', *The European Journal of Operational Research*, 2, pp. 429-444.

- Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y. y Seiford, L.M. (1994): *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Escolano Martínez, J. (2014): *Análisis de las aplicaciones móviles en el sector turístico*, TFG, Universidad de Zaragoza.
- Farrell, M.J. (1957): ‘The measurement of productive efficiency’, *Journal of Royal Statistical Society, Series A*, 120, pp. 253-290.
- Fedea (2012): *La competencia en el mercado español de transporte aéreo*. Disponible en: <http://www.fedea.net/la-competencia-en-el-mercado-espanol-de-transporte-aereo/>
- Froján, R. S., y Romagnoli, M. E. (2009): *Iberia Líneas Aéreas: Rediseñando su estrategia para hacer frente a los nuevos retos*, Madrid: IE Business Publishing.
- Garriga, J. C. (2008): ‘El bajo coste y la nueva aviación comercial’, *Ingeniería y territorio*, 83, pp. 80-89.
- Hollingsworth, B., Dawson, P.J. y Maniadakis, N. (1999): ‘*Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods and applications*’, Working Paper, Department of Epidemiology and Public Health, University of Newcastle.
- Lovell, C.A.K. y Pastor, J.T. (1995): ‘Units invariant and translation invariant DEA models’, *Operations Research Letters*, 18, pp. 147-51.
- Meissner, M. (2008). *Las líneas aéreas de bajo coste: Fundamentos teóricos y estudio empírico sobre su impacto en el transporte aéreo y en la estructura del sector turístico en Europa. Tesis Doctoral*. Facultad de economía y empresariales: Málaga. Disponible en: <http://www.biblioteca.uma.es/bbl/doc/tesisuma/17678298.pdf> [consultado el 21/04/2016].

- Muñiz Pérez, M.A. (1998): ‘Efecto de las variables medioambientales sobre la producción educativa: dos análisis DEA’, *VII Jornadas de la Asociación de la Economía de la Educación*, Valencia.
- Pastor, J.T. (1994): How to discount environmental effects in DEA: an application to bank branches. Working Papers nº 011/94, Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Alicante.
- Pulido Fernández J. (2007) “La influencia de las compañías aéreas de bajo coste en el mercado turístico español”. *Revista de análisis turístico*, 3, pp. 103-119.
- Quintanilha da Silveira, J., Correia Baptista Soares de Mello, J.C. y Angulo-Meza, L. (2012): “Evaluación de la eficiencia de las compañías aéreas brasileñas a través de un modelo híbrido de análisis envolvente de datos (DEA) y programación lineal multiobjetivo”, *Ingeniare, revista chilena de ingeniería*, 20 (3), pp. 331-342
- Rey, B. e Inglada V. (2006): “Evolución reciente de las compañías de bajo coste en Europa. Una referencia al caso de España”, *Economista*, nº extraordinario, pp. 100-107.
- Simar, L. (1996): "Aspects of Statistical Analysis in DEA-type Frontier Models." *Journal of Productivity Analysis*, 7, pp. 177-185.
- Webs consultadas:
 - www.iberia.com
 - www.vueling.com
 - www.evelop.com
 - www.airmostrum.com

- <http://www.canaryfly.es>
- <http://www2.unwto.org/es>
- <http://www.wamosair.com/es>
- <https://www.aireuropa.com/es>
- <http://www.albatar.es/>
- <http://www.swiftair.com/>
- <http://www.volotea.com/es/>