



# Evaluación de la productividad y eficiencia en los aeropuertos españoles después de la liberalización del transporte aéreo

## Evaluating productivity and efficiency of Spanish airports after air transport liberalization

Núm. 9 (2017), pp. 99-112

Inglada, Vicente\*  
Coto-Millán, Pablo\*\*  
Inglada-Pérez, Lucía\*\*\*

Recibido: **diciembre, 2016**

Aceptado: **diciembre, 2017**

**JEL Clasif:** L32, L93, H54

**DOI:** [10.5944/reppp.9.2017.17686](https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.17686)

---

\* VICENTE INGLADA: Universidad Nacional de Educación a Distancia. E-mail: [vinglada@cee.uned.es](mailto:vinglada@cee.uned.es)

\*\* PABLO COTO-MILLÁN: Universidad de Cantabria. E-mail: [pedro.coto@unican.es](mailto:pedro.coto@unican.es)

\*\*\* LUCÍA INGLADA-PÉREZ: Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Economía. España. E-mail: [linglada@eco.uc3m.es](mailto:linglada@eco.uc3m.es)

## **Resumen**

Desde la década de los noventa, se han desarrollado diversos procesos —liberalización del transporte aéreo, globalización, irrupción de las compañías aéreas de bajo coste— que han tenido implicaciones relevantes sobre el sistema aeroportuario español. Este artículo estudia los cambios acaecidos en la productividad y eficiencia técnica de los aeropuertos españoles entre 1992 y 2012. Para ello se aplica la metodología denominada Análisis Envolvente de Datos (DEA) que permite la estimación de índices Malmquist de productividad y su posterior descomposición en indicadores de eficiencia técnica y cambio tecnológico. Los resultados obtenidos muestran que los aeropuertos españoles han experimentado durante el periodo analizado un moderado incremento de la productividad total de los factores que es imputable prácticamente en exclusiva al crecimiento de la eficiencia técnica.

*Palabras clave:* Aeropuertos; Malmquist; DEA; eficiencia; productividad; cambio tecnológico

## **Abstract**

Since the 1990s, several significant events i.e. liberalization of air transport, globalization, economic crisis and low-cost carrier presence, have produced considerable effects on the Spanish airports. This paper studies the changes in both technical efficiency and total factor productivity of Spanish airports that have happened in 1992-2012. To this end, we have applied a Data Envelopment Analysis (DEA) methodology to estimate Malmquist indices of productivity change that have the advantage of being able to break down as a combination of the technological change and the technical efficiency. Results show that Spanish airports have experienced during the period analyzed an increment in the total factor productivity which is mainly due to technical efficiency change.

*Key Words:* Airports; Malmquist; DEA; efficiency; productivity; technological change

## 1. Introducción

Desde el inicio de la década de los 90, la confluencia de diversos procesos ha generado consecuencias importantes sobre los actores involucrados en la industria aérea española, y en particular sobre el sistema aeroportuario. El proceso de liberalización del transporte aéreo y de ciertos servicios aeroportuarios de asistencia en tierra, acometidos en España durante la década de los 90, la irrupción de las compañías de bajo coste en los años noventa y la intensa crisis económica comenzada en 2008, son algunos ejemplos representativos de tales fenómenos que han incidido profundamente en el funcionamiento de los aeropuertos españoles (Coto-Millán *et al.*, 2016). Por ello, el estudio de los cambios acaecidos durante dicho periodo en las principales variables que caracterizan a cada aeropuerto adquiere un carácter sumamente relevante.

El objetivo básico de este trabajo es analizar los cambios producidos en los aeropuertos españoles entre los años 1992 y 2012, incidiendo con especial énfasis en el tráfico de mercancías y pasajeros, así como en el grado de eficiencia y productividad mostrado en su gestión. Los aeropuertos españoles se caracterizan por la existencia de una elevada diferenciación en su tamaño. Por todo ello, no solo se estudia la evolución de su nivel de eficiencia sino también se descompone la eficiencia de cada aeropuerto en sus dos componentes, asociadas, respectivamente, a la escala y la puramente técnica. En la eficiencia de escala intervendría decisivamente el tamaño del aeropuerto. El estudio se lleva a cabo sobre 33 aeropuertos, utilizando una metodología de análisis no paramétrico, que permite la estimación de índices Malmquist de productividad y su posterior descomposición en indicadores de eficiencia técnica y cambio tecnológico.

La herramienta metodológica empleada es el denominado Análisis Envolvente de Datos (DEA), una técnica de programación lineal no paramétrica que es adecuada para estimar la eficiencia y rendimientos de escala mediante la construcción de la frontera más eficiente. Esta metodología presenta, entre otras, la ventaja de su flexibilidad, al no imponer forma funcional alguna para la frontera tecnológica, que es construida a partir de las prácticas más eficientes y sus combinaciones lineales.

Dado su interés, no es extraño que en la literatura sobre eficiencia y productividad se reconozcan numerosos trabajos que analizan la eficiencia técnica de los aeropuertos tanto españoles como de otros países<sup>1</sup>. Sin embargo, no existe, en nuestro conocimiento, un estudio para el caso español que considere un periodo tan amplio de 20 años como se realiza en esta investigación.

Con estos objetivos, la estructura de esta investigación es la siguiente. En la sección segunda se revisa la metodología utilizada para el cálculo de la variación de la productividad y de los índices de eficiencia técnica y de escala. En la sección tercera se describen y analizan los datos utilizados. A continuación, en la sección cuarta, se discuten los resultados obtenidos, y por último, en la sección quinta se exponen las principales conclusiones.

---

<sup>1</sup> En Coto-Millán *et al.* (2014) se lleva a cabo una revisión completa de la literatura internacional sobre eficiencia en aeropuertos.

## 2. Metodología

### 2.1. Análisis Envolvente de Datos (DEA)

Se considera una empresa que emplea  $K$  factores productivos:  $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)$  que están disponibles a unos precios fijos, para producir un producto  $Y$ , que se puede vender a un precio fijo. Desde la perspectiva de la eficiencia, la característica básica de la función de producción radica en que proporciona la máxima cantidad de producto que es posible obtener para cada vector de cantidades aplicadas de los factores productivos, bajo ciertas condiciones impuestas por la tecnología. Por lo tanto, describe un límite o frontera y, así, en la literatura económica, esta función es denominada función frontera ya que caracteriza el comportamiento optimizador de un productor eficiente y, por tanto, marca los límites de los posibles valores de su respectiva variable dependiente.

Las medidas de eficiencia de las unidades investigadas se obtienen comparando los valores observados para cada unidad productiva con el óptimo definido por la frontera estimada.

La hipótesis de rendimientos constantes de escala es un supuesto altamente restrictivo en la medida de la eficiencia técnica. En este sentido, Forsund y Hjalmarsson (1979), consideran la alternativa de rendimientos variables e introducen el concepto de eficiencia de escala. Un proceso de producción puede basarse en la hipótesis de rendimientos constantes de escala (CRS), aunque en la mayoría de situaciones es más apropiado suponer una tecnología con rendimientos variables de escala (VRS). Cuando existen grandes disparidades en el tamaño de las unidades de producción, hecho que sucede en los aeropuertos españoles, sería conveniente comparar cada unidad con otras similares en escala de producción ya que la diferencia de magnitud de la ineficiencia entre unidades podría ser debida a la escala.

Asimismo, el índice de eficiencia técnica admite dos especificaciones dependiendo de que se tome como referencia el nivel de producción o los factores productivos. En el primer modelo, orientado hacia el output, se mide la proporción en que se puede incrementar el nivel de producción con las cantidades de factores empleadas mientras que en el segundo modelo, orientado hacia el input, se mide la proporción en que se pueden reducir los factores productivos para seguir produciendo la misma cantidad de output. En una tecnología de rendimientos constantes de escala, las dos versiones del índice coincidirían. En el caso de los servicios públicos, en general, el output está relacionado a la demanda existente que es una variable, en gran medida, exógena a la empresa, mientras que el ahorro de costes es uno de los objetivos relevantes de la empresa. Por ello, en estos casos se dan las condiciones idóneas para desarrollar un modelo de proyección orientado al input. De acuerdo con Coto-Millan *et al.* (2014) y Tovar y Rendeiro Martín-Cejas (2009), este será el modelo adoptado en esta investigación.

La técnica denominada Análisis Envolvente de Datos (DEA) parte de Farrell (1957) que propone construir lo que denomina isocuanta envolvente a partir de los ratios inputs-output observados, con datos de sección cruzada<sup>2</sup>. Este método de cálculo ha sido desarrollado con posterioridad. Entre otros, por Charnes *et al.* (1978). Esta metodología

2 Es decir, con datos de cada unidad (en este caso aeropuertos) para un año determinado.

tiene la ventaja de permitir relajar supuestos como el de rendimientos constantes y contemplar casos más generales como el de las tecnologías multiproducto. Mediante esta técnica se construye una frontera de producción de referencia mediante métodos de programación matemática a partir de unidades productivas eficientes y de combinaciones lineales de las mismas. Esta frontera poligonal lineal no paramétrica representaría el proceso óptimo en la transformación de un conjunto de inputs en los outputs finales. Las medidas de la eficiencia son las distancias que separan a cada empresa de la frontera. Una descripción completa de esta metodología DEA se realiza en Cooper *et al.* (2000), Thanassoulis (2001) y Salazar (1999). Este tipo de metodología basada en la identificación de fronteras no paramétricas ha sido frecuentemente utilizada en la literatura económica, fundamentalmente para el sector bancario, agrario, hospitales, así como transporte ferroviario y aéreo.

A continuación, se presenta el ejercicio de programación lineal correspondiente a los modelos DEA orientados al input y con rendimientos constantes y variables de escala que es el utilizado en esta investigación. En el caso de  $n$  aeropuertos, la magnitud de la eficiencia técnica ( $ET_j$ ) de cada aeropuerto  $j$  bajo rendimientos constantes de escala (CRS) y un modelo DEA orientado hacia el input, puede estimarse resolviendo el siguiente problema de programación lineal (Coelli, 1998):

$$ET_j = \underset{\theta_j^{CRS} \lambda}{\text{Min}} \theta_j^{CRS} \quad \text{sujeto a : } Y_j \leq Y\lambda; \theta_j^{CRS} X_j \geq X\lambda; \lambda \geq 0 \quad (1)$$

Donde  $X$  e  $Y$  son respectivamente los vectores input y output,  $\theta_j^{CVS}$  es la eficiencia técnica del aeropuerto  $j$ , suponiendo rendimientos constantes de escala, y  $\lambda$  es un vector de pesos o ponderaciones de dimensión  $n \times 1$ . Estas ponderaciones no pueden ser negativas y miden la contribución de las unidades seleccionadas eficientes a la definición de un punto de referencia para el aeropuerto ineficiente  $j$ . En general,  $0 \leq \theta_j^{CVS} \leq 1$ , donde  $\theta_j^{CRS}=1$  si el aeropuerto está produciendo sobre la frontera de producción y por tanto es técnicamente eficiente. Cuando  $\theta_j^{CRS}<1$ , el aeropuerto es técnicamente ineficiente. Para obtener la eficiencia técnica  $\theta_j^{VRS}$  bajo rendimientos variables de escala (VRS) se añade la restricción de convexidad  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  a la ecuación (1).

## 2.2. Índices de Malmquist

Una forma de estudiar la evolución de la productividad de los factores a lo largo del tiempo es mediante los denominados índices de Malmquist. Estos índices poseen la ventaja de poder descomponer el cambio en la productividad total de los factores (TFP) como una combinación del cambio técnico y del cambio en la eficiencia técnica. De acuerdo con Färe *et al.* (1994) y Färe *et al.* (1998), el cambio en la eficiencia mide la habilidad para hacer el mejor uso de la tecnología disponible, mientras el cambio tecnológico se refiere a

una mejora o empeoramiento del estado de la tecnología. En contraste con otros índices de productividad, los índices Malmquist tienen la ventaja de que no requieren disponer de datos acerca de precios. Se calculan mediante la media geométrica de las ratios de productividad de los factores en los periodos  $t$  y  $t+1$  (ver Murillo-Melchor, 1999).

El índice Malmquist entre los periodos  $t$  y  $t+1$  es:

$$M_I^{t,t+1}(X_t, Y_t; X_{t+1}, Y_{t+1}) = \left[ \frac{D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^t(X_t, Y_t)} \times \frac{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^{t+1}(X_t, Y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Donde  $X_t$  e  $Y_t$  son los inputs y outputs en el periodo  $t$ , respectivamente;

$D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1})$  es la distancia entre la observación en el periodo  $t+1$  y la tecnología

frontera en el periodo  $t$ , que es definida por  $D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1}) = \max \{ \lambda : (X_t / \lambda) \in L_t(Y_t) \}$ ;  $\lambda$

mide la máxima reducción de los inputs y  $L_t(Y_t)$  es el conjunto de inputs.

Este índice representaría la variación de la productividad de los factores del punto de producción  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  relativa al punto de producción  $(x_t, y_t)$ . Un valor mayor que 1 indicaría una variación positiva de la productividad entre el periodo  $t$  y  $t+1$ . Para resolver esta ecuación hay que estimar, por lo tanto, las cuatro funciones de distancia correspondientes, lo que trae consigo la resolución de cuatro ejercicios de programación lineal similares a aquellos existentes en el cálculo de las medidas de la eficiencia técnica.

El índice de Malmquist que mide la variación de la productividad de los factores puede expresarse también de la siguiente forma, que nos permite descomponerlo en dos componentes.

$$M_I^{t,t+1}(X_t, Y_t; X_{t+1}, Y_{t+1}) = \frac{D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^t(X_t, Y_t)} \left[ \frac{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})} \frac{D_I^t(X_t, Y_t)}{D_I^t(X_t, Y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

La primera componente de la ecuación es el cambio en la eficiencia técnica: (relativa a tecnología CRS):  $\frac{D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^t(X_t, Y_t)}$ .

La segunda componente es el cambio tecnológico:

$$\left[ \frac{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})} \frac{D_I^t(X_t, Y_t)}{D_I^t(X_t, Y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

La expresión anterior puede ampliarse descomponiendo el cambio en eficiencia técnica (CRS) en sus dos componentes de variación en la eficiencia de escala y en la eficiencia técnica pura (VRS). Para ello es necesario estimar dos nuevos ejercicios de programación lineal considerando las funciones distancia, relativas a una tecnología de rendimientos variables de escala en vez de rendimientos constantes de escala.

### 3. Análisis de datos

Los datos usados en esta investigación corresponden a 33 aeropuertos españoles observados entre los años 1992 y 2012 y han sido obtenidos de AENA. Aeropuertos Nacionales<sup>3</sup>. La imposibilidad de disponer de datos para todos los años del periodo nos impide usar un panel de datos y por ello se han utilizado los datos correspondientes a los años 1992 y 2012. La selección de la muestra de 33 aeropuertos se ha realizado con base en el criterio de tener una dimensión significativa en relación con el tráfico aéreo comercial durante el periodo analizado. Con esta muestra se cubre prácticamente el 98 % del tráfico en todo el periodo analizado.

La selección de las variables utilizadas como inputs y outputs de la función de producción está basada en la literatura existente y en la disponibilidad de datos y coincide con la adoptada en Coto *et al.* (2016) donde se explica con detalle el proceso de selección y las características de las variables utilizadas. En resumen, con base en que la industria aeroportuaria puede considerarse de producción conjunta (Yoshida, 2004), los outputs utilizados son: (i) número de pasajeros embarcados y desembarcados (ii) número de toneladas embarcadas y desembarcadas y (iii) número de operaciones. Los inputs considerados de acuerdo con Oum *et al.* (2003) están asociados con los distintos tipos de gasto, es decir, coste de personal, capital medido por el inmovilizado neto y otros gastos operativos correspondientes al resto de factores de producción distintos de los correspondientes al trabajo y capital.

**Tabla I.** Magnitudes de los principales estadísticos de inputs y outputs. **Fuente:** Elaboración propia.

Variables	1992				2012				
	Mín.	Máx.	Media	D.T.	Mín.	Máx.	Media	D.T.	
Outputs	Número de pasajeros(miles)	100	18096	2486,5	4028,5	24,4	45190,5	5877,5	10001
	Cantidad de mercancías (toneladas)	10	188383	12090,8	34037,2	0,2	361019,8	19734	63774,2
	Número de movimientos	1850	181696	26612	40719,5	4248	373192	54532,9	80355,4
Inputs	Coste del Trabajo (millones de Euros)	0,7	21,4	4,6	4,6	1,1	29,6	5,9	6,2
	Inmovilizado (millones de Euros)	11,8	6159,4	448	1159,8	7,9	3176,6	265,6	598,9
	Resto de Costes operativos (millones de Euros)	0,1	21,1	2,7	4,5	1,2	185,0	15,3	34,6

3 Los datos utilizados proceden de <http://www.aena.es>

Todas las variables input y output seleccionadas han sido frecuentemente utilizadas en los estudios sobre eficiencia en aeropuertos como se muestra en Tovar y Rendeiro Martín-Cejas (2010) y en Coto-Millan *et al.* (2014). Las variables monetarias consideradas como inputs fueron deflactadas por el deflactor del PIB y expresadas en valores monetarios de 1992.

En la tabla 1 se muestran las magnitudes de los principales estadísticos correspondientes a las variables elegidas como inputs y outputs para 1992 y 2012. Se comprueba en los dos años de referencia que para todas las variables existe una gran disparidad entre sus valores máximo y mínimo. Este resultado muestra la existencia de una elevada concentración en la distribución del tráfico por aeropuertos en ambos años. Además, la desviación típica de todas las variables outputs es sensiblemente mayor en 2012 respecto a 1992, lo que sugiere un aumento de la dispersión en la distribución del tráfico de viajeros y mercancías entre los aeropuertos a lo largo del periodo.

## 4. Análisis de los resultados

### 4.1. Variación en el tráfico de pasajeros y mercancías

En la tabla 2 se muestran las variaciones que experimenta los tráficos de pasajeros, mercancías, y toneladas equivalentes<sup>4</sup> (TEQ) entre los años 199 y 2012 para cada aeropuerto de la muestra seleccionada. La variación media por aeropuerto es positiva para las tres variables consideradas. Los crecimientos medios anuales son: 4,40 %; 2,48 % y 4,32 % para el número de pasajeros, toneladas y TEQs, respectivamente.

Ver **Tabla 2** en la siguiente página\*

---

<sup>4</sup> Se considera un pasajero equivalente a 100 kg de mercancía. Esta unidad es utilizada en otras investigaciones como en Martin *et al.*, (2009).



**\*Tabla 2.** Tasa de variación anual del tráfico de viajeros y mercancías en los aeropuertos españoles (1992-2012) (Tanto por ciento). **Fuente:** Elaboración propia

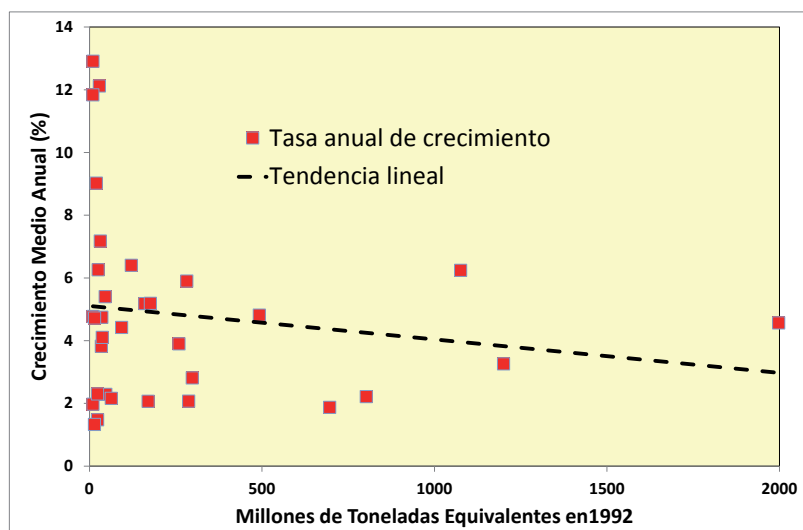
Aeropuertos	Pasajeros (Millones)	Mercancías (Millones de Toneladas)	Toneladas Equivalentes (Millones)
Murcia-San Javier	13,09	-31,32	12,91
Girona	12,15	-1,80	12,12
Reus	11,84	2,11	11,83
Santander	9,07	-22,08	9,02
Zaragoza	4,47	11,14	7,17
Bilbao	6,53	-2,04	6,40
A Coruña	6,30	-1,41	6,26
Barcelona-El Prat	6,47	1,45	6,24
Alicante	5,97	-2,80	5,90
Asturias	5,44	-6,26	5,40
Valencia	5,31	1,82	5,19
Fuerteventura	5,26	-4,06	5,18
Málaga	4,87	-3,83	4,81
San Sebastián	4,90	-9,43	4,77
Jerez de la Frontera	4,77	-7,34	4,75
Valladolid	4,74	-4,17	4,72
Madrid-Barajas	4,68	3,31	4,57
Santiago	4,65	-4,60	4,42
<b>Media</b>	<b>4,40</b>	<b>2,48</b>	<b>4,32</b>
Vigo	4,16	-0,59	4,10
Ibiza	3,96	-3,00	3,90
Granada	3,85	-9,76	3,82
Palma de Mallorca	3,29	-0,34	3,26
Lanzarote	2,90	-5,48	2,81
Vitoria	-10,53	19,83	2,30
Almería	2,32	-16,11	2,29
Tenerife	2,29	-1,08	2,22
La Palma	2,29	-5,31	2,16
Sevilla	2,12	-0,89	2,07
Menorca	2,16	-4,39	2,07
El Hierro	2,09	-4,92	1,97
Gran Canaria	2,03	-2,62	1,87
Melilla	1,55	-4,05	1,48
Pamplona	1,37	-11,14	1,33

En relación con el número de pasajeros, excepto el aeropuerto de Vitoria, todos los aeropuertos experimentan una variación positiva. Los cuatro aeropuertos que experimentan un mayor crecimiento entre los años 1992 y 2012 son: Murcia-San Javier (con una tasa de crecimiento anual del 13,09 %); Girona (12,15 %); Reus (11,84 %) y Santander (9,07 %).

Cabe resaltar que los cuatro aeropuertos citados tienen en común pertenecer al estrato de aeropuertos caracterizado por tener la mayor presencia de las compañías de bajo coste.

En el caso del tráfico de mercancías, destaca el pronunciado crecimiento de los aeropuertos de Vitoria (con una tasa de crecimiento anual del 19,83 %) y Zaragoza (11,14 %). Como se menciona en Coto-Millan *et al.* (2016), estos dos aeropuertos se caracterizan por haberse especializado en el tráfico de mercancías. Finalmente, combinando los resultados descritos en el tráfico de viajeros y mercancías se observa que, en relación con el número de toneladas equivalentes, los resultados son muy similares a los descritos para el tráfico de viajeros. Los aeropuertos con mayor crecimiento vuelven a ser Murcia-San Javier (12,91 %); Girona (12,12 %); Reus (11,83 %) y Santander (9,02 %). Aparte de ello, cabe destacar el elevado crecimiento del tráfico de TEQs en el aeropuerto de Zaragoza (7,17 %).

En el gráfico 1 se muestran las magnitudes de la variación entre los años 1992 y 2012 de la producción de cada aeropuerto expresada en TEQs respecto al número de TEQs transportadas en 1992. Se observa que existe una correlación negativa entre ambas variables de forma que cuanto mayor es el tráfico inicial menor es la tasa de crecimiento del tráfico en el periodo analizado.



**Gráfico 1.** Relación entre el crecimiento del tráfico en los años 1992 y 2012 y el nivel del tráfico en 1992. **Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2. Variación de la productividad y eficiencia

Se ha utilizado el enfoque metodológico denominado Análisis Envolvente de Datos (DEA) que se describe en el apartado 2 de esta investigación para determinar la variación de la productividad y eficiencia en cada aeropuerto a partir de los índices de Malmquist. Los resultados obtenidos se describen a continuación.

En la tabla 3 se muestran las magnitudes para cada aeropuerto de las variaciones, expresadas en tantos por ciento, producidas en la productividad total de los factores, cambio técnico, eficiencia técnica (CRS) y en sus dos componentes, eficiencia técnica pura (VRS) y eficiencia de escala. Se observa que en relación con la variación de la productividad total de los factores, los seis aeropuertos que experimentan un mayor crecimiento durante 1992-2012, expresado en tasa anual de variación, son: Vitoria (10,17 %); Girona (6,26 %); San Sebastián (5,66 %); Zaragoza (4,81 %); Jerez de la Frontera (4,15 %) y Santander (3,47 %). Cabe resaltar que los aeropuertos citados tienen en común

pertenecer al estrato de aeropuertos caracterizado por tener la mayor presencia de las compañías de bajo coste o bien estar especializados en el transporte de mercancías como es el caso de Vitoria.

**Tabla 3.** Variación en los aeropuertos de la productividad total de factores y de sus componentes entre los años 1992 y 2012. **Fuente:** Elaboración propia.

Aeropuerto	Índice Malmquist de productividad	Cambio en eficiencia técnica	Cambio técnico	Cambio en eficiencia técnica pura	Cambio en eficiencia de escala
Alicante	1,105	1,612	0,686	1,635	0,986
Almería	0,885	1,177	0,752	1,48	0,795
Asturias	0,927	1,302	0,712	1,537	0,847
Barcelona	1,241	1	1,241	1	1
Bilbao	0,998	1,13	0,883	1,105	1,023
A Coruña	0,551	0,784	0,703	0,909	0,862
Fuerteventura	0,626	0,879	0,713	0,97	0,905
Girona	3,37	4,299	0,784	2,729	1,575
FGL Granada	0,776	1,029	0,754	1,202	0,856
El Hierro	0,582	0,614	0,949	1	0,614
Ibiza	1,204	1,437	0,838	1,417	1,014
Jerez de la Frontera	2,256	2,288	0,986	1,513	1,513
Lanzarote	0,805	0,99	0,814	1	0,99
La Palma	0,553	0,657	0,841	0,754	0,872
Gran Canaria	1,009	0,998	1,011	1	0,998
Madrid-Barajas	1,345	1	1,345	1	1
Menorca	0,658	0,812	0,81	0,879	0,924
Málaga-Costa del Sol	1,257	1,302	0,965	1,293	1,007
Melilla	0,409	0,591	0,692	0,973	0,607
Palma de Mallorca	1,074	1	1,074	1	1
Pamplona	1,183	1,541	0,768	1,64	0,94
Reus	0,727	0,659	1,102	0,668	0,988
Murcia-San Javier	1,45	1,826	0,794	1,634	1,117
San Sebastián	3,009	2,59	1,162	1,376	1,883
Tenerife	0,81	0,905	0,895	1	0,905
Santander	1,977	2,968	0,666	2	1,484
Santiago	0,796	1,332	0,598	1,354	0,984
Sevilla	1,475	1,407	1,048	1,344	1,047
Valencia	1,146	1,195	0,959	1,185	1,009
Valladolid	0,945	1,175	0,804	0,981	1,198
Vigo	0,834	1,185	0,704	1,271	0,933
Vitoria	6,934	3,308	2,096	2,557	1,293
Zaragoza	2,56	1	2,56	1	1
<b>Media</b>	<b>1,118</b>	<b>1,230</b>	<b>0,909</b>	<b>1,221</b>	<b>1,008</b>

En relación con el crecimiento de la eficiencia técnica global, bajo rendimientos constantes de escala, los seis aeropuertos que experimentan un mayor crecimiento durante 1992-2012, expresado en tasa anual de variación, son: Girona (7,56 %); Vitoria (6,16 %); Santander (5,59 %); San Sebastián (4,87 %); Jerez de la Frontera (4,23 %) y Murcia-San Javier (3,06 %). Por lo tanto, cabe concluir que el patrón de crecimiento en relación con la eficiencia técnica global es similar al caso de la variación de la productividad. Asimismo, los seis aeropuertos que experimentan un mayor progreso técnico durante los años 1992 y 2012 son: Zaragoza (4,81 %); Vitoria (3,77 %); Madrid-Barajas-Adolfo Suarez (1,49 %); Barcelona-El Prat (1,09 %); San Sebastián (0,75 %) y Reus (0,49 %). Se observa que los dos aeropuertos que experimentan un mayor progreso técnico -Zaragoza y Vitoria-, están especializados en el transporte de mercancías, lo que puede explicar su mayor progreso tecnológico. Este resultado está en concordancia con las conclusiones de Coto-Millan *et al.* (2016). Asimismo, los dos aeropuertos de mayor tráfico de viajeros -Madrid-Barajas y Barcelona-El Prat- destacan por su elevado progreso tecnológico en 1992-2012.

Finalmente, en relación con el crecimiento de la eficiencia técnica pura, bajo rendimientos variables de escala, los resultados son muy similares a los descritos para el caso del crecimiento de la eficiencia técnica global. Los aeropuertos que experimentan un mayor crecimiento en dicha variable durante 1992-2012, expresado en tasa anual de variación, son: Girona (5,15 %); Vitoria (4,81 %); Santander (3,53 %); Pamplona (2,50 %); Alicante (2,49 %) y Murcia-San Javier (2,49 %). De nuevo, los aeropuertos con mayor tasa de crecimiento pertenecen al estrato de aeropuertos caracterizado por tener la mayor presencia de las compañías de bajo coste (por ejemplo, Girona o Alicante) o bien están especializados en el transporte de mercancías como es el caso de Vitoria.

En resumen, los resultados obtenidos del análisis de la productividad realizado revelan que entre los años 1992 y 2012, los aeropuertos españoles han experimentado un moderado crecimiento de la productividad (11,8 %) que corresponde a una tasa media anual acumulativa del 0,37 %. La descomposición del Índice Malmquist de productividad en la componente de cambio técnico, que representa el desplazamiento de la frontera de eficiencia para el nivel de output de cada empresa, y el cambio en eficiencia técnica, muestra que el crecimiento global de la productividad para el conjunto de aeropuertos de la muestra, se debe exclusivamente al cambio en eficiencia técnica que experimenta un crecimiento del 23,06 %, el cual corresponde a una tasa anual acumulativa de crecimiento de 0,69 %. Además, este importante crecimiento de la eficiencia técnica global a lo largo del periodo analizado se debe prácticamente en exclusiva al cambio en la eficiencia técnica pura (22,1 %), ya que el crecimiento de la eficiencia de escala es marginal (0,08 %).

## 5. Conclusiones

En este trabajo, utilizando la metodología DEA orientada al input que nos permite estimar los índices Malmquist, se analiza el comportamiento de la productividad y de los distintos tipos de eficiencia productiva en los 33 principales aeropuertos españoles entre los años 1992 y 2012.

A partir del análisis de los resultados obtenidos se concluye que en el periodo 1992-2012 los aeropuertos españoles han experimentado un moderado crecimiento de la

productividad (11,8 %). La descomposición del Índice Malmquist de productividad en la componente de cambio técnico, que representa el desplazamiento de la frontera de eficiencia para el nivel de output de cada empresa, y el cambio en eficiencia técnica, nos muestra que el crecimiento global de la productividad para el conjunto de aeropuertos de la muestra, se debe exclusivamente al cambio en eficiencia técnica que experimenta un crecimiento del 23,06 %. Además, este importante crecimiento de la eficiencia técnica global a lo largo del periodo analizado se debe prácticamente en exclusiva al cambio en la eficiencia técnica pura (22,1 %) ya que el crecimiento de la eficiencia de escala es marginal (0,08 %).

Las medidas de política pública deberían estar encaminadas a la consolidación de las mejoras observadas en la productividad del sistema aeroportuario. Entre otras medidas, cabe señalar las siguientes: (i) mejora de la eficiencia en el funcionamiento de la cadena intermodal de transporte, por ejemplo, en la conexión con el ferrocarril de alta velocidad; (ii) evaluaciones rigurosas de las nuevas inversiones y servicios mediante el correspondiente análisis coste-beneficio; (y iii) un sistema eficiente y eficaz de tasas aeroportuarias.

La investigación futura debería estar encaminada al examen de las relaciones entre las características específicas de cada aeropuerto y las variaciones de su productividad y de sus índices de eficiencia. También sería interesante ampliar esta investigación con el análisis de los cambios producidos en los resultados financieros de los aeropuertos españoles durante el periodo seleccionado.

## 6. Referencias Bibliográficas

- Charnes, A., Cooper, W.W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 6 (2), 429-444.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., y Tone, K. (2000). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Kluwer Academic Publishers, Boston
- Coelli, T.J. (1998). Multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models. *Operational Research Letters*, 23, 143-149.
- Coto-Millán, P., Inglada, V., Casares, P., Badiola, A., Agüeros, M., & Pesquera, M. A. (2014). Small is beautiful? The impact of economic crisis, low cost airlines, and size on efficiency in Spanish Airports (2009-2011)". *Journal of Air Transport and Management*, 40, 34-41.
- Coto-Millán, P., Inglada, V., Fernández, X.L. y Inglada-Perez, L. (2016): The "effect procargo" on technical and scale efficiency at airports: The case of Spanish airports (2009-2011). *Utilities Policy*, 39, 29-35.
- Färe, R., Grosskop, S., Norris, M. & Zhang, Z. (1994): "Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries". *The American Economic Review*, 84 (1), 66-83.
- Färe, R., Grosskop, S. y Roos, P. (1998): "Malmquist productivity indexes: A survey of theory and practice", en Färe, R., Grosskopf, S. y Russell, R. (edits.): *Index numbers: Essays in honor of Sten Malmquist*, Kluwer Academic Publishers, Boston.

- Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A (General)*, 120 (3), 253–281.
- Forsund, F. R. y Hjalmarsson, L. (1979). Generalised Farrell Measures of Efficiency: An Application to Milk Processing in Swedish Dairy Plants. *Economic Journal, Royal Economic Society*, 89 (354), 294-315.
- Martín, J. C., Román, C. y Voltes-Dorta, A. (2009). A stochastic frontier analysis to estimate the relative efficiency of Spanish airports, *Journal of Productivity Analysis*, 31: 163-176.
- Murillo-Melchor, C. (1999). An analysis of technical efficiency and productivity changes in Spanish airports using the Malmquist index. *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), 271-292.
- Oum, T. H., Yu, C., y Fu, X. (2003). A comparative analysis of productivity performance of the world's major airport: summary report of the ATRS global airport benchmarking research report-2002. *Journal of Air Transport Management*, 9, 285–297.
- Salazar, F. (1999). A DEA approach to the Airport production function, *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), 255–270.
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software*. Springer Verlag, New York.
- Tovar, B. y Rendeiro Martín-Cejas, R., (2009). Are outsourcing and non-aeronautical revenues important drivers in the efficiency of Spanish airports? *Journal of Air Transport Management*, 15, 217–220.
- Tovar, B. y Rendeiro Martín-Cejas, R. (2010). Technical efficiency and productivity changes in Spanish airports: *A parametric distance functions approach*. *Transportation Research E*, 46 (2), 249-260.
- Yoshida, Y. (2004). Endogenous-weight TFP measurement: methodology and its applications to Japanese-airport benchmarking. *Transportation Research E*, 40, 151-182.