



**GRADO EN ECONOMÍA**  
2013-2014

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE COSTES DE CORTO  
Y LARGO PLAZO PARA LOS AEROPUERTOS  
ESPAÑOLES 2009-2012**

**ESTIMATION OF SHORT-RUN AND LONG-RUN COST FUNCTIONS FOR  
SPANISH AIRPORTS 2009-2012**

**AUTORA**

**ALICIA LASCURAIN TORRES**

**TUTOR**

**RAMÓN NÚÑEZ SÁNCHEZ**

**FECHA**

**10 Septiembre 2014**

## ÍNDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT .....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS AEROPUERTOS ESPAÑOLES .....	6
2.1 TRÁFICO AEROPORTUARIO .....	7
2.2. COSTES AEROPORTUARIOS .....	9
2.3. TARIFAS AEROPORTUARIAS .....	10
2.3.1. Ingresos aeroportuarios .....	11
3. ESPECIFICACIÓN ECONOMETRICA.....	12
3.1. MODELO TEÓRICO.....	12
3.1.1 El largo plazo.....	12
3.1.2 El corto plazo.....	13
3.2. VARIABLES .....	14
4. RESULTADOS .....	16
4.1 EL LARGO PLAZO.....	16
4.2 EL CORTO PLAZO .....	17
4.3 ECONOMÍAS DE ESCALA.....	17
5. CONCLUSIONES .....	18
ANEXO I: TABLAS DE RESULTADOS.....	19
ANEXO II: METODOLOGÍA.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	27

## RESUMEN

En este trabajo se han estimado diferentes especificaciones de funciones de costes para los aeropuertos españoles durante el período 2009-2012. A partir de una tecnología Cobb-Douglas, se han incluido como inputs el capital, el trabajo y los consumos intermedios. Debido a que se ha considerado el capital como un factor fijo a corto plazo, se ha diferenciado entre los costes de largo plazo (costes totales) y los de corto plazo (costes variables). Por otro lado, los outputs que se han tenido en cuenta son los pasajeros, las mercancías y las aeronaves, fusionando en la variable WLU las variables pasajeros y mercancías debido a la numerosa existencia de ceros en el caso de las mercancías.

Los datos han sido obtenidos de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) y de la página web de Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA). Para poder realizar las estimaciones pertinentes, se han calculado detalladamente los precios de los factores productivos (capital, trabajo y consumos intermedios).

Los resultados sugieren, por un lado, que los costes marginales de largo plazo son muy superiores a los de corto debido a que en los primeros se incluye el coste del capital; y por otro, que existen economías crecientes a escala para todos los modelos estimados. Además, debido a la diversidad en el tamaño de los aeropuertos, las estimaciones llevadas a cabo son robustas a heterocedasticidad. Dichas estimaciones revelan que el método MC2E no es necesario debido a la inexistencia de endogeneidad en las variables explicativas, y que el MCO es válido al no rechazarse la hipótesis nula del test de Hausman.

**Palabras clave:** funciones de costes, aeropuertos, costes marginales, economías de escala, inputs, outputs.

## **ABSTRACT**

In this paper different specifications of cost functions for Spanish airports during 2009-2012 have been estimated. Using a Cobb-Douglas technology, capital, labor and intermediate consumption have been included as inputs. It has considered that capital is a fixed factor in the short term, and because of that, it has differentiated between the long-term costs (total costs) and the short-term (variable costs). On the other hand, the outputs which have been taken into account are the passengers, goods and aircrafts, fusing in the variable WLU passengers and goods due to the large presence of zeros in the case of goods.

The data have been obtained from the database of the National Statistics Institute (INE) and the website of Spanish Airports and Air Navigation (AENA). In order to make appropriate estimates, the prices of factors of production have been calculated in detail (capital, labor and intermediate consumption).

The results suggest, firstly, that the long-term marginal costs are much higher than short because the cost of capital is included in the first; and secondly, that there are increasing economies of scale for all estimated models. In addition, because of the diversity in the size of airports the estimates made are robust to heteroskedasticity. These estimates show that the 2SLS method is not necessary due to the absence of endogeneity in the explanatory variables, and that OLS is valid because the null hypothesis of the Hausman test is rejected.

**Keywords:** cost functions, airports, marginal costs, economies of scale, inputs, outputs.

## 1. INTRODUCCIÓN

La privatización de empresas públicas ha sido siempre un tema de interés económico. En España, este fenómeno empieza a adquirir relevancia en la década de los noventa. Los aeropuertos no son una excepción. Recientemente se ha anunciado la privatización del 49% del capital de AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea), empresa gestora de los aeropuertos en España. El objetivo de dichas privatizaciones está relacionado con el aumento de la eficiencia del sector aeronáutico, por un lado; y el aumento de la competencia, por otro. Y no sólo esto, además con esta operación se pretende aumentar la liquidez de los aeropuertos, ya que su situación deficitaria persiste y aumenta con el tiempo. Como consecuencia de ello, durante la última década ha surgido un nuevo modelo de aerolínea, las aerolíneas de bajo coste (Low Cost Carriers, LCC), que además han aumentado su presencia con la actual crisis económica (Coto et al., 2014).

Sin embargo, el aspecto más interesante de la privatización de AENA es la visión contrapuesta que tienen el Gobierno y la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), debido a que el primero es partidario de privatizar la entidad en bloque, y la CNMC defiende una privatización de aeropuertos individualizada. El motivo que alega el Ministerio de Fomento es que la venta fragmentada de los aeropuertos no impulsaría su venta.

En el próximo otoño se podrá comprobar el resultado de esta operación. En Europa hay experiencias previas de éxito en la privatización, como FRAPORT, que es la entidad que gestiona el aeropuerto de Frankfurt, entre otros<sup>1</sup>.

Existen numerosos estudios que estiman funciones de costes para aeropuertos. En este trabajo se revisan dos. El primero de ellos corresponde a Bottasso y Conti (2010), en el que también se analiza la estructura de costes en la industria aeroportuaria en Reino Unido entre 1994 y 2005. Además, analiza los costes en función de si la propiedad es pública, privada o mixta, y llega a la conclusión de que los aeropuertos privados tienen un menor coste variable respecto a los otros dos modelos. Además, los resultados son robustos a la presencia de heterogeneidad no observada.

Por otro lado, en el artículo de Martín et al. (2011) se calculan economías de escala para los aeropuertos españoles desde 1991 hasta 1997. El análisis se lleva a cabo mediante una función translogarítmica, y aunque en este trabajo no se ha utilizado una función Cobb-Douglas se ha llegado a la misma conclusión, y es la existencia de economías crecientes a escala. Asimismo, hay que señalar que otra de las conclusiones del artículo es que en el norte de España hay seis aeropuertos situados excesivamente cerca unos de otros, y esta distribución no sería eficiente a no ser que los principales aeropuertos del área estuvieran saturados.

Con todo esto, surge la motivación de analizar la estructura de los costes en los aeropuertos españoles en un contexto de recesión económica, y a partir de la estimación econométrica de una función de costes para los aeropuertos españoles en el periodo que va del año 2009 hasta 2012 se ha considerado oportuno especificar dos tipos de funciones: una de largo plazo, en la que todos los inputs son considerados como variables; y otra de corto plazo, en la que se considera que el stock de capital es un input fijo. Adicionalmente, se han tenido en cuenta posibles problemas de endogeneidad de alguna de las variables exógenas por lo que además de utilizar el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), se ha utilizado el método de mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E). Los resultados muestran que hay

---

<sup>1</sup> FRAPORT también gestiona aeropuertos en Asia, África, América y Europa, algunos de ellos muy importantes como los de Xi'An, Lima, San Petersburgo o Dakar.

Estimación de funciones de costes de corto y largo plazo para los aeropuertos españoles 2009-2012

rendimientos crecientes a escala en los aeropuertos españoles para el período estudiado. En cuanto a los costes de corto y de largo plazo hay que señalar que éstos vienen en gran medida explicados por las dummies de grupos, es decir, por el tamaño del aeropuerto.

Para ello, la estructura del trabajo será la siguiente. En primer lugar, se analizarán las principales características de los aeropuertos españoles. A continuación, se plantea la especificación econométrica a partir del modelo de decisión de los aeropuertos. En el cuarto capítulo se muestran los resultados de las estimaciones. Por último, se establecen una serie de conclusiones.

## **2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS AEROPUERTOS ESPAÑOLES**

La red aeroportuaria española está formada por 46 aeropuertos y 2 helipuertos distribuidos a lo largo de todo el territorio, incluyendo Islas Canarias, Islas Baleares, Ceuta y Melilla. Si bien es cierto que debemos tener en cuenta que no todos los aeropuertos son comerciales (Madrid-Cuatro Vientos, Madrid-Torrejón, Sabadell y Son Bonet). Asimismo, hay tres aeropuertos, Burgos, Córdoba y Huesca-Pirineos que si son comerciales pero que por la ausencia de vuelos regulares no vamos a tener en cuenta (a excepción de Burgos) a la hora de realizar el estudio debido a que son observaciones atípicas<sup>2</sup>.

La totalidad de los aeropuertos en España son públicos, es decir, son gestionados por un único ente público, en este caso, por Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA); que además gestiona algunos aeropuertos fuera de nuestras fronteras. Cada país debe decidir el modo en que gestiona sus aeropuertos (público, privado o mixto)<sup>3</sup>. No hay uno que prevalezca sobre el resto, simplemente de adoptará el que mejor se adapte a la situación particular de cada país, teniendo en cuenta sus antecedentes históricos.

En el caso español, AENA se encarga fundamentalmente de (AENA, 2014):

- Ordenación, dirección, coordinación, explotación, conservación, administración y gestión de los aeropuertos y helipuertos
- Coordinación, explotación, conservación, administración y gestión de las zonas civiles de las bases militares y aeropuertos de utilización conjunta
- Proyecto, ejecución, dirección y control de las inversiones en los aeropuertos
- Evaluación y planificación de nuevas infraestructuras y de las servidumbres aeronáuticas y acústicas
- Desarrollo de los servicios de orden y seguridad
- Formación en materias relacionadas con el transporte aéreo

---

<sup>2</sup> En el caso de Huesca-Pirineos, desde el año 2011 no presenta actividad, y por lo tanto tampoco vuelos regulares. Además, cuando estaba operativo estaba sujeto a una fuerte estacionalidad, ya que el tráfico aumentaba en invierno gracias a las estaciones de esquí. En el caso de Córdoba, era un aeropuerto militar que se ha transformado y ahora está relacionado con el Hospital Reina Sofía por asuntos de trasplantes y los únicos pasajeros que recibe son en la época estival por el turismo. Por último, Burgos cuenta con un reducido número de pasajeros debido a que tan solo lleva abierto tres años, desde 2011.

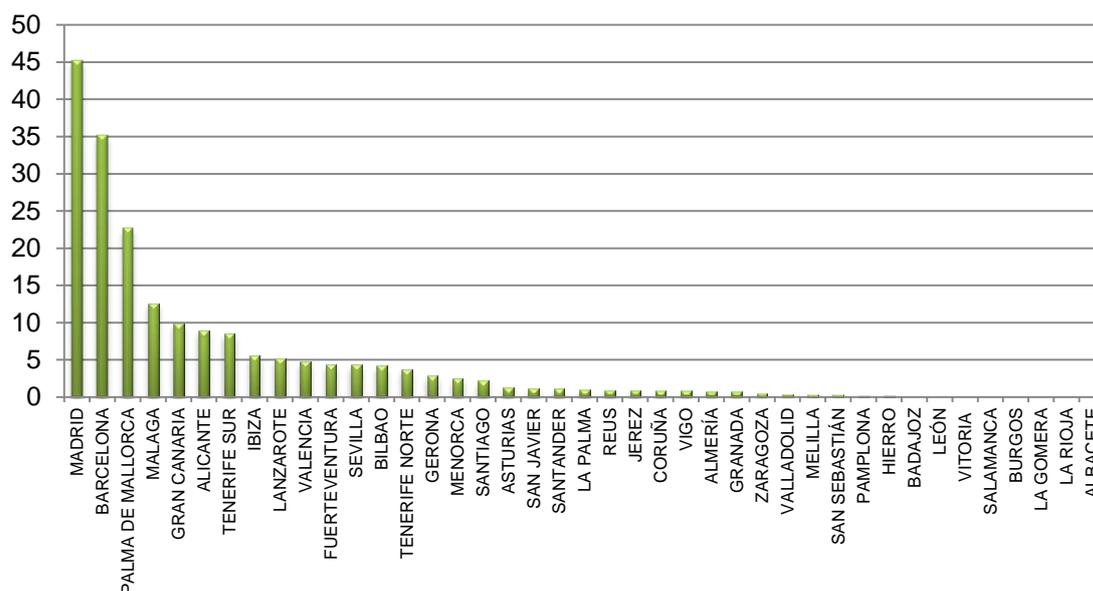
<sup>3</sup> Cada modelo de gestión se desglosa a su vez en varios tipos de gestión más específicos. Algunos ejemplos son: Organismo Autónomo, Entidad Pública Empresarial, Concesión Institucional o Contrato de Gestión.

## 2.1 TRÁFICO AEROPORTUARIO

Como podemos observar en el Gráfico 2.1, los aeropuertos que cuentan con mayor número de pasajeros son los situados en grandes ciudades como Madrid y Barcelona, que cuentan con 45 y 35 millones de pasajeros anuales, respectivamente. En un escalón inferior encontramos aeropuertos como los de Palma de Mallorca (22.666.858), Málaga-Costa del Sol (12.581.944), Gran Canaria (9.892.067) o Alicante (8.855.444). Por el contrario, y si no tenemos en cuenta los aeropuertos no comerciales, los aeropuertos con menor volumen de pasajeros son la Gomera (19.707), la Rioja (19.263) y Albacete (3.916). A pesar de la difícil situación económica que atravesamos, el número de pasajeros totales en los aeropuertos españoles ha aumentado paulatinamente desde 2009. Esto puede deberse a que muchos de ellos son extranjeros, y como sabemos, España es uno de principales destinos de turismo internacional.

También es interesante analizar por qué hay un elevado porcentaje de aeropuertos con un número de pasajeros tan reducido. Esto puede deberse, en parte, a la cercanía entre ellos. El caso más llamativo es el del aeropuerto de Vitoria (con 24.839 pasajeros en 2012), pues tiene 5 aeropuertos a menos de 130 Km por carretera. A 73 Km se encuentra el de Bilbao, a 117 Km San Sebastián, a 110 Km Pamplona y a 116 Km Burgos y Logroño.

Gráfico 2.1. Número de pasajeros en los aeropuertos españoles en 2012 (en millones)

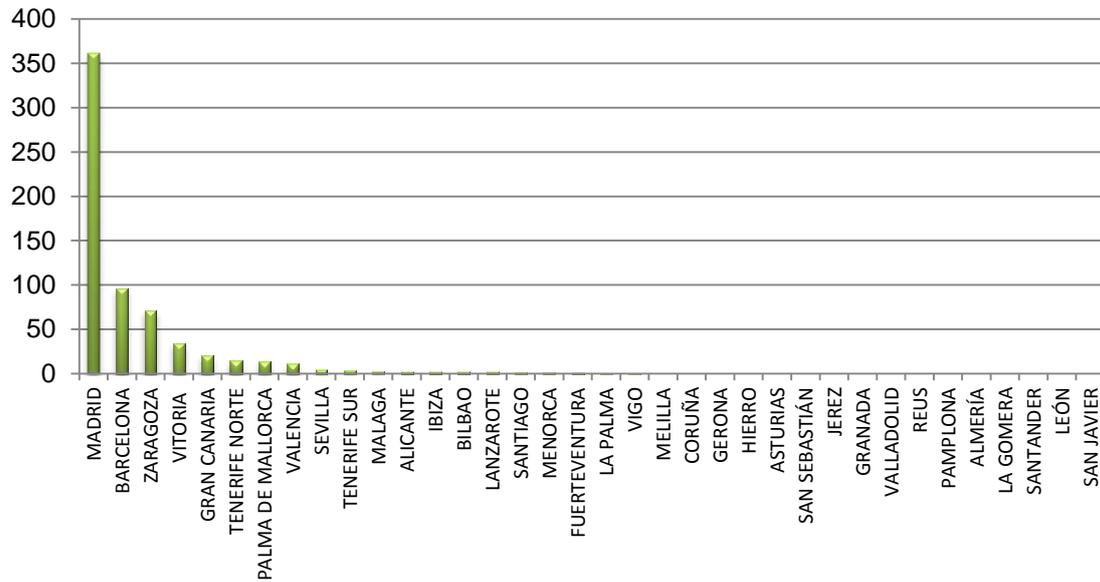


Fuente: elaboración propia a partir de datos de AENA

Si analizamos el volumen de mercancías, el Gráfico 2.2 revela que Madrid y Barcelona siguen siendo los aeropuertos de mayor tráfico de mercancías con 361 y 96 miles de toneladas respectivamente, y que Zaragoza (71 miles de toneladas) y Vitoria (34 miles de toneladas) ocupan también los primeros puestos. En la mitad de la lista se encuentran Málaga, Alicante, Bilbao, Santiago y algunos aeropuertos de Baleares y Canarias. Además, los aeropuertos con menor tráfico son la Gomera, Santander, León y San Javier con menos de 2.000 Kg de mercancías todos ellos.

Estimación de funciones de costes de corto y largo plazo para los aeropuertos españoles 2009-2012

Gráfico 2.2. Volumen de mercancías en los aeropuertos españoles en 2012 (en miles de toneladas)

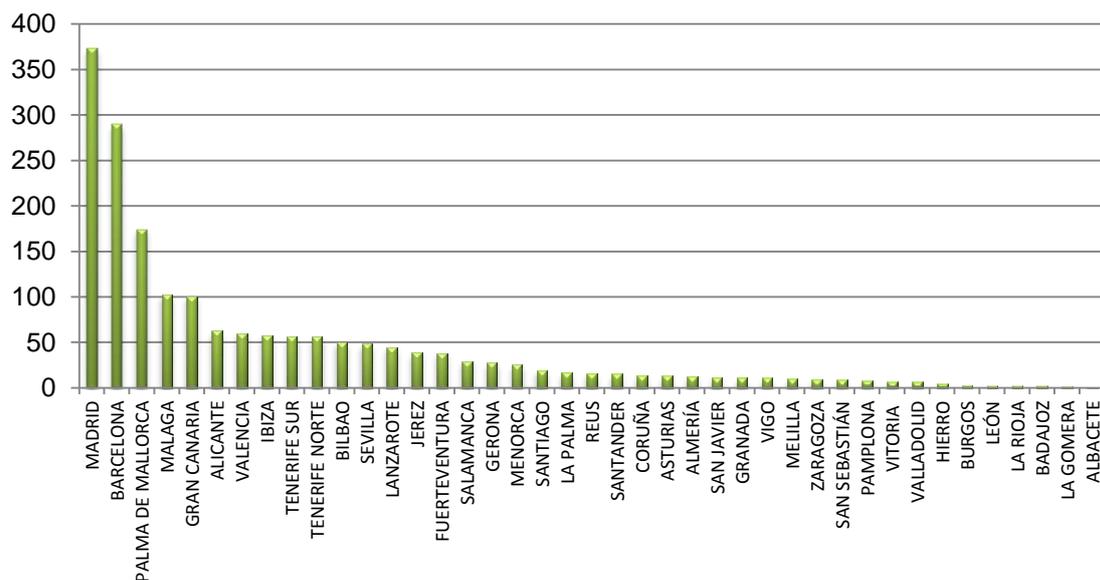


Nota: excluidos los aeropuertos de Albacete, Badajoz, Burgos, la Rioja y Salamanca porque sus mercancías son 0.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de AENA

Por último, si analizamos el número de aeronaves en 2012, Gráfico 2.3, comprobamos que Madrid, Barcelona y Palma de Mallorca son los aeropuertos más relevantes con 373.192, 290.004 y 173.966 aeronaves respectivamente. En segundo lugar, entre 100.000 y 50.000 aeronaves, encontramos aeropuertos como Málaga, Alicante, Valencia, los de Tenerife (tanto Norte como Sur) y Bilbao. Los últimos puestos de la lista los ocupan la Rioja, Badajoz, la Gomera y Albacete.

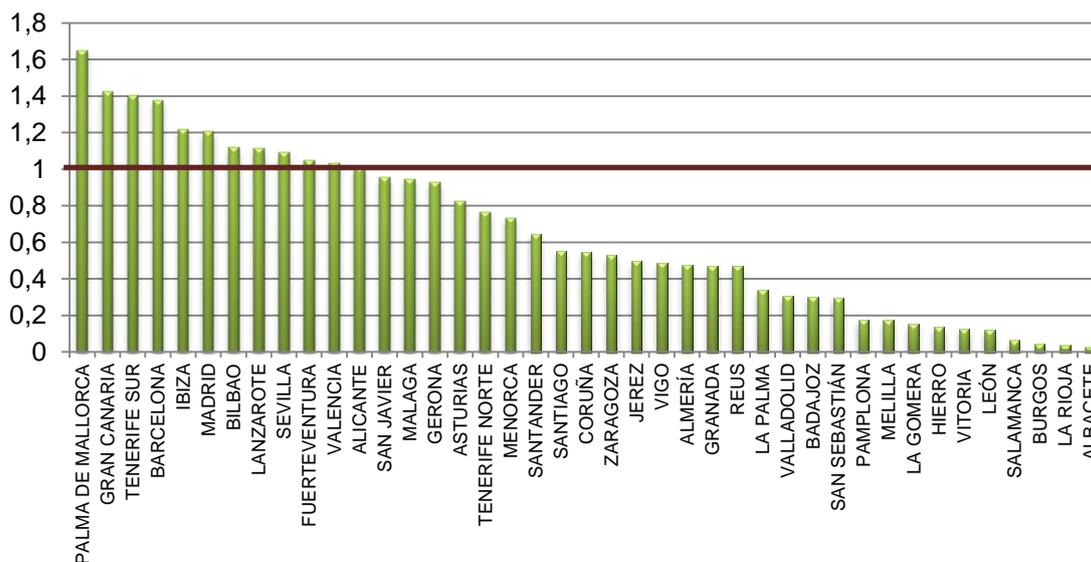
Gráfico 2.3. Número de aeronaves en los aeropuertos españoles en 2012 (en millares)



Fuente: elaboración propia a partir de datos de AENA

En el Gráfico 2.4 observamos el ratio ingresos/gastos para los aeropuertos españoles en 2012. Cuanto más elevado sea dicho ratio, mejor será la situación económica del aeropuerto, ya que los ingresos serán superiores a los gastos. En estas condiciones se encuentran los aeropuertos insulares, Barcelona, Madrid y Bilbao. Con unos ingresos iguales, más o menos, a los gastos (ratio igual a la unidad) se sitúan Valencia, Alicante, Málaga, San Javier y Gerona. Por último, los que se encuentran en peor lugar son los de León, Salamanca, Burgos, la Rioja y Albacete.

Gráfico 2.4. Ingresos entre gastos en los aeropuertos españoles en 2012



Fuente: elaboración propia a partir de datos de AENA

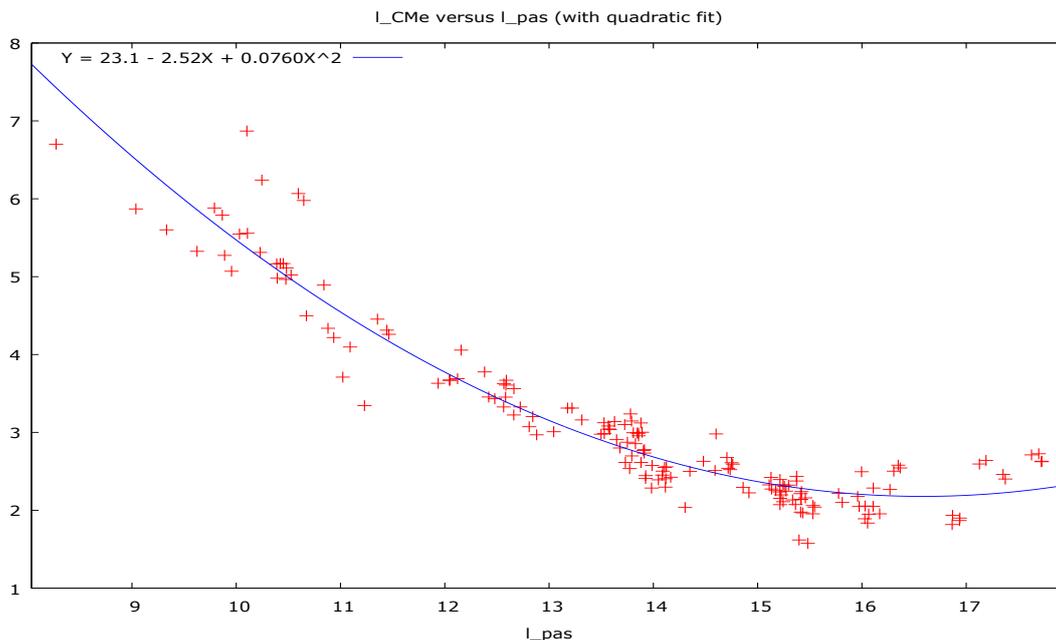
## 2.2. COSTES AEROPORTUARIOS

Los costes aeroportuarios que se han tenido en cuenta para realizar el Gráfico 2.5 se componen del gasto en personal, otros gastos de explotación, del déficit de tarifa de aproximación y de la amortización<sup>4</sup>. Las dos variables que aparecen en el gráfico (coste medio por pasajero y número de pasajeros) están expresadas en logaritmos ya que la relación no es lineal y de esta manera es más fácil de ver e interpretar. Tal y como podemos comprobar, la curva del coste medio por pasajero tiene la forma de la curva de coste medio común que utilizamos en economía. Tiene un primer tramo decreciente desde los 7 €/pasajero hasta los 1,5 €/pasajero aproximadamente, donde presenta el tamaño mínimo eficiente, y a partir de ahí empieza a crecer de nuevo. Aun con todo, este gráfico hay que tomarlo con cautela porque la actividad de los aeropuertos españoles es multiproductiva.

<sup>4</sup> Los datos del año 2012 no incluyen la partida de déficit de tarifa de aproximación.

Estimación de funciones de costes de corto y largo plazo para los aeropuertos españoles 2009-2012

Gráfico 2.5. Coste medio por pasajero en los aeropuertos españoles 2009-2012 (en logaritmos)



Fuente: elaboración propia a partir de datos de AENA

### 2.3. TARIFAS AEROPORTUARIAS

Con el motivo de gestionar de manera más eficiente y eficaz la red de aeropuertos, en 2012 se lleva a cabo un importante cambio en el sistema de tarificación. A través del Real Decreto-ley 13/2010 del 3 de diciembre se establece que “*el modelo actual de gestión aeroportuaria puede mejorar sus niveles de eficiencia abordando medidas que permitan acometer un importante proceso de modernización dirigido a la separación de las funciones de gestión aeroportuaria y las de navegación aérea que en España, hasta ahora, venían siendo desarrolladas por la misma Entidad Pública Empresarial, AENA*”. Por lo tanto, AENA Aeropuertos S.A (AASA) posee los activos de AENA, y ésta pasa a ocuparse exclusivamente de los servicios de navegación aérea.

Por este motivo, y por la diferencia entre los aeropuertos españoles en cuanto al tamaño y a las tarifas que aplican, AENA (2013) establece su clasificación en cinco categorías. Los aeropuertos agrupados en una misma categoría aplican las mismas tarifas.

- **Grupo I:** Madrid-Barajas y Barcelona-El Prat
- **Grupo II:** Alicante, Gran Canaria, Tenerife Sur, Málaga-Costa del Sol y Palma de Mallorca
- **Grupo III:** Bilbao, Fuerteventura, Gerona, Ibiza, Lanzarote, Menorca, Santiago, Sevilla, Tenerife Norte y Valencia
- **Grupo IV:** Almería, Asturias, Coruña, Granada, Jerez, La Palma, Murcia-San Javier, Reus, Santander, Vigo y Zaragoza
- **Grupo V:** Albacete, Algeciras, Badajoz, Burgos, Ceuta, Córdoba, Madrid-Cuatro Vientos, Hierro, Huesca-Pirineos, La Gomera, León, Logroño, Melilla, Sabadell, Salamanca, San Sebastián, Son Bonet, Pamplona, Madrid-Torrejón, Vitoria y Valladolid

### 2.3.1. Ingresos aeroportuarios

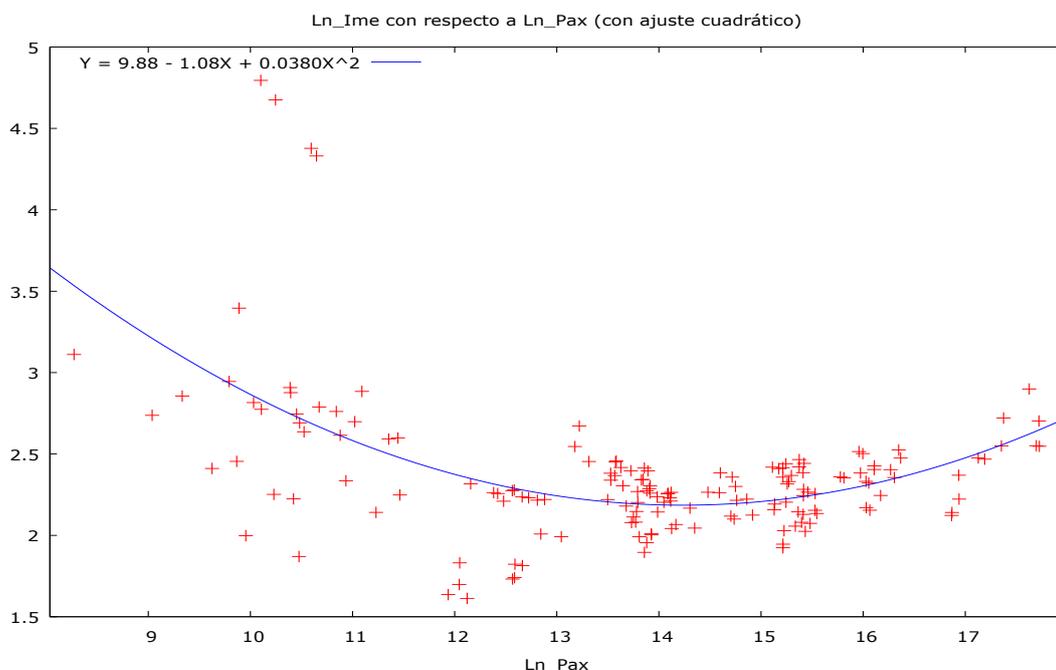
Ingresos aeroportuarios. Atendiendo a la clasificación que hace AENA (2008), distinguimos:

- Ingresos aeronáuticos: aterrizajes, estacionamiento de aeronaves, utilización de infraestructuras, pasarelas telescópicas, manipulación de mercancías y tasa de seguridad, pasajeros y personas de movilidad reducida (PMR), combustibles y asistencia en tierra (tanto a pasajeros como a las aeronaves).
- Ingresos no aeronáuticos: servicios de comida a bordo, alquiler de locales, mostradores de facturación, servicios a concesionarios, utilización de salas y zonas no determinadas y handling de rampa.
- Ingresos comerciales: carburantes, explotaciones comerciales, bares y restaurantes, coches de alquiler, aparcamiento y publicidad.

Por todos los servicios que presta, AENA (2012) establece una serie de precios a pagar, dependiendo del servicio aeronáutico, por las compañías aéreas, los usuarios o las empresas a las que preste dichos servicios.

A través del Gráfico 2.6 analizamos el ingreso medio por pasajero para el período 2009-2012. La pendiente que tiene se debe a la forma en que se establecen las tasas aeroportuarias. Aquellos aeropuertos con mayor tráfico establecerán mayores tasas, y por tanto, los de menor tráfico, menores. Las cruces situadas en el extremo derecho pertenecen a Madrid, Barcelona y Palma de Mallorca, ya que tener tasas más elevadas aumenta el ingreso medio. Por el contrario, las cruces situadas en la parte izquierda superior corresponden al aeropuerto de Vitoria, caracterizado por el tráfico de mercancías, lo que hace que tenga un menor ingreso.

Gráfico 2.6. Ingreso medio por pasajero en los aeropuertos españoles 2009-2012 (en logaritmos)



Fuente: elaboración propia a partir de datos de AENA

### 3. ESPECIFICACIÓN ECONÓMICA

#### 3.1. MODELO TEÓRICO

En este apartado se ha seguido la estructura de McCarthy (2001, capítulos 5 y 6) a la hora de definir el problema de minimización, las funciones de costes y las economías de escala.

##### 3.1.1 El largo plazo

Debemos empezar definiendo el problema de minimización de costes a largo plazo al que se enfrentan los aeropuertos, sujetos a la función de producción.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Min } CT = wL + rK + iI \\ L, K, I \\ \text{s. a. } F(\vec{Q}, L, K, I) = 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

donde  $\vec{Q}$  es un vector de outputs (WLU y aeronaves),  $CT$  son los costes totales,  $K$  es el stock de capital,  $L$  es la cantidad de trabajo,  $I$  es la cantidad de consumos intermedios,  $r$  es el precio del capital,  $w$  el precio del trabajo e  $i$  el precio de los consumos intermedios<sup>5</sup>.

Para poder producir necesitamos tres factores: trabajo, consumos intermedios y capital, cuyas funciones de demanda condicionada son, respectivamente:

$$L = L(w, r, i, \vec{Q}) \quad (2)$$

$$I = I(w, r, i, \vec{Q}) \quad (3)$$

$$K = K(w, r, i, \vec{Q}) \quad (4)$$

Para producir también decidimos la cantidad de capital, ya que todos los inputs son variables.

Sustituyendo las ecuaciones (2), (3) y (4) en la función objetivo del problema de decisión (1), se obtiene una función de costes de largo plazo.

$$CT = CT(w, r, i, \vec{Q}) \quad (5)$$

A partir de esta relación entre variables de costes, precios de los factores productivos y outputs, establecemos distintas especificaciones econométricas. Suponiendo una tecnología de tipo Cobb-Douglas, la función de costes de largo plazo se puede expresar como un modelo log-log en el que hay logaritmos neperianos en ambos lados de la ecuación.

---

<sup>5</sup> Debemos tener en cuenta que al hacer la operación  $\ln$  mercancías con una tecnología Cobb-Douglas, no existe logaritmo para los aeropuertos que tienen un valor igual a cero en las mercancías, y por tanto se eliminan esas observaciones. Para corregirlo, introducimos una nueva variable que aúna pasajeros y mercancías.

$WLU = \text{pasajeros} * 100 + \text{mercancías}$

Partiendo de la ecuación Cobb-Douglas:

$$CT_{it} = e^{\beta_0} w_{it}^{\beta_1} r_{it}^{\beta_2} i_{it}^{\beta_3} WLU_{it}^{\beta_4} A_{it}^{\beta_5} \quad (6)$$

De manera que tomando logaritmos en ambos lados de la ecuación se obtiene el primer modelo econométrico.

$$\ln CT_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln w_{it} + \beta_2 \ln r_{it} + \beta_3 \ln i_{it} + \beta_4 \ln WLU_{it} + \beta_5 \ln A_{it} + u_{it} \quad (7)$$

donde  $u_{it}$  es el término de error.

De esta manera, podemos obtener las elasticidades output del coste total de los aeropuertos<sup>6</sup>.

$$\beta_4 = \frac{\partial \ln CT_{it}}{\partial \ln WLU_{it}} = \varepsilon_{WLU,C} \quad (8)$$

$$\beta_5 = \frac{\partial \ln CT_{it}}{\partial \ln A_{it}} = \varepsilon_{A,C} \quad (9)$$

A partir de las dos elasticidades output del coste total, podemos calcular los rendimientos de escala de los aeropuertos a partir de la siguiente expresión:

$$S = \frac{1}{\varepsilon_{WLU,C} + \varepsilon_{A,C}} \quad (10)$$

Dependiendo del valor que tome  $s$ , obtendremos rendimientos constantes a escala si  $s = 1$ ; rendimientos crecientes a escala si  $s > 1$ ; y rendimientos decrecientes a escala si  $s < 1$ .

Por otro lado, es posible calcular los costes marginales de los dos outputs (WLU y aeronaves) a través de la siguiente ecuación<sup>7</sup>:

$$\frac{\partial CT_{it}}{\partial WLU_{it}} = \beta_{WLU_{it}} \frac{CT_{it}}{WLU_{it}} \quad (11)$$

$$\frac{\partial CT_{it}}{\partial A_{it}} = \beta_{A_{it}} \frac{CT_{it}}{A_{it}} \quad (12)$$

### 3.1.2 El corto plazo

Por otro lado, también se puede definir el problema minimizando la función de costes de corto plazo.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Min } CV = wL + r\bar{K} + iI \\ L, I \\ \text{s. a. } F(\vec{Q}, L, \bar{K}, I) = 0 \end{array} \right\} \quad (13)$$

<sup>6</sup> Recordando la fórmula de elasticidad para los dos outputs ( $Q_i$ : WLU y aeronaves):

$$\varepsilon_{Q_i,C} = \frac{\partial \text{Coste}_{it}}{\partial Q_{it}} \cdot \frac{Q_{it}}{\text{Coste}_{it}}$$

<sup>7</sup> El coste marginal mide la variación del coste cuando varía en una unidad la producción.

$$\text{CMg} = \frac{d\text{Coste}}{dQ}$$

Estimación de funciones de costes de corto y largo plazo para los aeropuertos españoles 2009-2012

donde  $\vec{Q}$  es un vector de outputs (WLU y aeronaves),  $CV$  son los costes variables,  $\bar{K}$  es el stock de capital que en este caso se considera como un input fijo,  $L$  es la cantidad de trabajo,  $I$  es la cantidad de consumos intermedios,  $r$  es el precio del capital,  $w$  el precio del trabajo e  $i$  el precio de los consumos intermedios. El coste variable se ha obtenido a partir de los costes totales de la siguiente manera:

$$CV_{it} = CT_{it} - gk_{it} \quad (14)$$

donde  $gk$  es la amortización.

Las funciones de demanda de los factores son igual que en el largo plazo, con la salvedad de que en este caso suponemos que el stock de capital viene dado, ya que a corto plazo el capital es un input fijo, así que la función de costes a corto plazo es la siguiente:

$$CV = CV(w, i, \bar{K}, \vec{Q}) \quad (15)$$

De modo que el modelo de corto plazo es:

$$\ln CV_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln w_{it} + \beta_2 \ln K_{it} + \beta_3 \ln i_{it} + \beta_4 \ln WLU_{it} + \beta_5 \ln A_{it} + u_{it} \quad (16)$$

donde  $CV_{it}$  es el coste variable, es decir, el gasto de explotación menos la amortización;  $\beta_0$  es el término constante;  $w_{it}$  es salario, es decir, gasto en personal;  $K_{it}$  es el stock de capital;  $i_{it}$  es el coste de los consumos intermedios;  $WLU_{it}$  es una variable que aúna pasajeros y mercancías y que definiremos con más precisión en el siguiente apartado;  $A_{it}$  son las aeronaves y  $u_{it}$  es el término de error.

Si calculamos la derivada parcial de las variables de aeronaves y WLU respecto de la dependiente, obtendremos las elasticidades output WLU y de las aeronaves respecto del coste variable.

Para hallar las elasticidades, las ecuaciones número (8), (9) y (10) son iguales, con la salvedad de que hay que cambiar el coste total (largo plazo) por el coste variable (corto plazo). Por tanto, la interpretación de las economías de escala es análoga.

$$\beta_4 = \frac{\partial \ln CV_{it}}{\partial \ln WLU_{it}} = \varepsilon_{WLU,C} \quad (17)$$

$$\beta_5 = \frac{\partial \ln CV_{it}}{\partial \ln A_{it}} = \varepsilon_{A,C} \quad (18)$$

En este caso, para calcular los costes marginales del output, debemos utilizar los costes variables:

$$\frac{\partial CV_{it}}{\partial WLU_{it}} = \beta_{WLU_{it}} \frac{CV_{it}}{WLU_{it}} \quad (19)$$

$$\frac{\partial CV_{it}}{\partial A_{it}} = \beta_{A_{it}} \frac{CV_{it}}{A_{it}} \quad (20)$$

### 3.2. VARIABLES

A continuación especificaremos cómo se han estimado los precios de los factores productivos en los aeropuertos españoles.

En primer lugar, el precio de los consumos intermedios ( $i$ ) se aproxima a través del índice de precios industriales, concretamente del apartado de suministro de energía

eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado. Además, ajustamos los datos por Comunidades Autónomas, siendo 2010 el año base (INE, 2014).

En segundo lugar, el precio del trabajo ( $w$ ) se calcula a través de la Encuesta Anual de Coste Laboral por trabajador del sector Almacenamiento y Actividades Anexas al Transporte. Para corregir las posibles diferencias entre Comunidades Autónomas, este precio del trabajo se corrige por la desviación del coste laboral de cada comunidad con respecto al nacional (INE, 2014). Esta variable se expresa en unidades monetarias (€).

$$k = \frac{\text{coste laboral CA}}{\text{coste laboral nacional}} \quad (21)$$

$$w = k w_{\text{almacenamiento}} \quad (22)$$

En tercer y último lugar, el precio del capital se ha obtenido a partir de la siguiente ecuación (OCDE, 2001):

$$r_{it} = (r_{f_t} + d_{it}) p_t \quad (23)$$

donde  $r_{f_t}$  es el tipo de interés oficial (INE, 2014),  $d_{it}$  es la tasa de depreciación de cada aeropuerto y se calcula a partir del cociente de la amortización de cada aeropuerto entre su volumen total de activos (AENA, 2014) y  $p_t$  es el índice de precios de materiales y mano de obra del sector de la construcción (INE, 2014). Esta variable se expresa en términos porcentuales.

Todas las variables nominales han sido deflactadas a través del Índice de Precios de Consumo (INE), siendo el año base 2011.

La Tabla 1 del Anexo I muestra los estadísticos descriptivos de todas las variables usadas en las estimaciones, analizando para cada una de ellas la media, la mediana, el máximo y el mínimo, la desviación típica y el coeficiente de variación. Esto nos va a permitir entender e interpretar de una manera más rigurosa el conjunto de datos.

Observando dicha tabla, podemos hacernos una idea de la gran diferencia existente en los tamaños de los aeropuertos en España. El mínimo de los outputs es muy bajo (pasajeros: 3916 personas, aeronaves: 799 unidades, mercancías: 0 toneladas), mientras que el máximo es significativamente elevado (pasajeros: 49,8 millones, aeronaves: 0,435187 millones de unidades, mercancías: 393,4 miles de toneladas). Además, la desviación típica de estas variables es muy grande. Esta misma idea se puede extrapolar a los costes totales y variables; en cambio, los precios de los factores son más homogéneos. El precio del trabajo, expresado en euros constantes, tiene una media de 37.542€, un mínimo de 33.415€, y un máximo de 47.794,7€. Esto sugiere que los salarios pagados son similares a lo largo del territorio. En el caso del precio de los consumos intermedios, expresado en número índice, la variación entre el mínimo y el máximo es de tan sólo unas décimas. Y por último, el precio del capital, expresado en tanto por uno, en el que observamos que la media y la mediana toman prácticamente el mismo valor, y el mínimo (0,066613) y el máximo (0,257318) tampoco difieren cuantiosamente. Para los tres precios de los factores, el coeficiente de variación es reducido.

## 4. RESULTADOS

Al estimar con datos de panel las funciones de costes para los aeropuertos españoles debemos tener en cuenta ciertas características econométricas. En primer lugar, no debemos olvidar la dispersión en cuanto al tamaño de los aeropuertos, desde los que mueven varios millones de pasajeros, a los que mueven únicamente algunos cientos o miles. Ante la posible presencia de heterocedasticidad, las estimaciones llevadas a cabo son robustas a heterocedasticidad. En el artículo de Bottasso y Conti (2010) estiman funciones de costes variables para los aeropuertos de Reino Unido para el período 1994-2005, y uno de los problemas econométricos que aparece es la heterocedasticidad. Además, al igual que en este trabajo, hay un problema de posible endogeneidad con los outputs.

Además, tanto para las estimaciones de corto como de largo plazo, se han añadido variables dummies ( $g_i$   $i = 2, 3, 4, 5$ ) para diferenciar el tamaño de los aeropuertos, que recordando la teoría del apartado 2, los aeropuertos se agrupan en función de su tamaño para aplicar tarifas análogas. Se ha tomado como base el grupo 1, por eso no aparece en las estimaciones. De esta forma, se explota la estructura de datos de panel de la base de datos construida.

Se han estimado cuatro modelos: mínimos cuadrados ordinarios (Modelos 1 y 5), mínimos cuadrados ordinarios con las dummies de grupos (Modelo 3 y 7), mínimos cuadrados en dos etapas (Modelo 2 y 6) y mínimos cuadrados en dos etapas con las dummies de grupos (Modelo 4 y 8). Al estimar por MCO suponemos que todas las variables son exógenas, pero esto puede no ser un supuesto muy realista porque los aeropuertos no pueden elegir su nivel de output ni el precio del capital, por eso también se ha estimado por MC2E. De esta manera consideramos que alguna de las variables explicativas puede ser endógena. El método de variables instrumentales se basa en dejar en el término de error la variable que no observamos, pero al estimar sí que la tenemos en cuenta. Los instrumentos que se han escogido son los retardos, de manera que no estén correlacionados con el error, pero sí con las variables explicativas. La explicación del modelo MC2E y el contraste de endogeneidad están detallados en el Anexo II.

### 4.1 EL LARGO PLAZO

Para las estimaciones de costes totales a largo plazo, especificadas en la Tabla 2 del Anexo I, observamos que las variables más significativas en los Modelos 1 hasta 4, son los logaritmos neperianos de los outputs (WLU y aeronaves) y el precio de los consumos intermedios, mientras que las menos significativas son el logaritmo del precio del trabajo y el del capital. Las dummies son siempre significativas al 1%. El  $R^2$  es elevado en todos los casos (mínimo 0,9), pero especialmente al incluir las variables de grupo, lo que sugiere que estas variables explican en gran medida los costes aeroportuarios. En los dos modelos estimados por MC2E no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ : los estimadores MCO son consistentes) del test de Hausman ( $p$ -valor  $> 0,05$ ). Esto quiere decir que no hace falta utilizar variables instrumentales y que el estimador MCO es consistente.

En cuanto a los coeficientes, varían considerablemente en todos los modelos, pero todos tienen signo positivo. La única excepción es el precio del capital, aunque dichos coeficientes no son estadísticamente distintos de cero. La interpretación de las dummies de grupos pueden interpretarse de la siguiente manera:  $g_2$  en el Modelo 4, su coeficiente es (-1,00348), lo que significa que sus costes totales disminuyen respecto del grupo base en un millón. Esto tiene sentido ya que cuanto más grande es

un aeropuerto, más costes, en términos absolutos, tendrá que soportar. A medida que disminuye el tamaño del aeropuerto ( $g_3$ ,  $g_4$  y  $g_5$ ) disminuyen los costes totales.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta son los costes marginales, decisivos en la toma de decisiones de los directivos de una empresa, o en este caso, de un aeropuerto. Los costes marginales de largo plazo están recogidos en la Tabla 6 del Anexo I. Hay que señalar que se han calculado para el modelo 3 y se ha calculado la media para el período estudiado (2009-2012) en lugar de calcularlos año a año, lo cual sería excesivamente largo. La elección de este modelo se debe a que es el que tiene el  $R^2$  más elevado, y además tiene las dummies. Los aeropuertos con un mayor coste marginal de WLU, expresados en €/100Kg, son Albacete, Burgos, La Gomera y Salamanca, es decir, aeropuertos muy pequeños. En cuanto al coste marginal de aeronaves, expresado en euros, los que presentan un coste más elevado son Albacete, La Gomera, Vitoria, León y Madrid. En este caso se mezclan aeropuertos pequeños con aeropuertos grandes, caracterizados éstos últimos por mover un elevado volumen de mercancías.

## 4.2 EL CORTO PLAZO

Para el caso de corto plazo añadimos la variable capital, o stock de capital, ya que viene dado. Las autoridades que gestionan los aeropuertos no pueden decidir sobre ello. Los modelos estimados son los mismos que para el supuesto de largo plazo y están recogidos en la Tabla 3 del Anexo I. Como rasgo general de estas estimaciones, hay que señalar que las variables son más significativas, y que la variación de los coeficientes es visiblemente menor, salvo para el caso del stock de capital. La única variable que no es significativa en ningún modelo es el precio del trabajo, y este es otro resultado contradictorio, puesto que es una variable importante. Por otro lado, desde esta visión de corto plazo, se observa que el capital tiene un impacto positivo a diferencia del largo plazo, de manera que ahora sí tiene sentido. En este caso, el contraste de Hausman también revela que la estimación MCO es válida.

Desde esta perspectiva de corto plazo, interpretamos la variable dummy  $g_2$  como los menores costes variables que tienen que soportar los aeropuertos del grupo 2 respecto al grupo base. A medida que disminuye su tamaño, van disminuyendo también los costes para los grupos 2, 3, 4 y 5 respectivamente (-0,635766, -1,08300, -1,33822 y -1,27479).

Los costes marginales de corto plazo están en la Tabla 7 del Anexo I. Cabe señalar, que al igual que en largo plazo, los aeropuertos que tienen elevados costes marginales de WLU son Albacete, Burgos, la Rioja, la Gomera y Salamanca; y en cuanto al coste marginal de aeronaves Albacete, la Gomera, Hierro, Madrid y Vitoria. La justificación es la misma que en el caso de largo plazo. Resulta interesante que la media de los costes marginales de largo plazo (WLU: 10,4 y Aeronaves: 186,4) es muy superior a los de corto (WLU: 7,3 y Aeronaves: 144,2). Tiene sentido que los costes marginales de corto plazo sean notablemente inferiores a los de largo porque no se está teniendo en cuenta el coste del capital.

## 4.3 ECONOMÍAS DE ESCALA

Si atendemos a las economías de escala de los aeropuertos, que aparecen especificadas en las tablas 4 y 5 del Anexo I, llegamos al resultado de que tanto para el caso de costes totales, como variables, y para todos los modelos estimados, existen economías crecientes de escala. Esto quiere decir que  $s > 1$ . La cifra más alta para el largo plazo aparece en el Modelo 4 con 2,65 y la más baja en el Modelo 2 con 1,384. En cambio, para el corto plazo, el valor más alto es 2,48 en el Modelo 7 y el más bajo en el Modelo 4 con 2,04.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se han estimado las funciones de costes variables y totales para los aeropuertos españoles desde el año 2009 al 2012. La diferenciación del horizonte temporal está justificada por el papel que juega el capital, ya que a largo plazo es un input variable, pero a corto plazo actúa como un factor fijo, es decir, el stock de capital viene dado y los aeropuertos no pueden influir sobre él. Los precios de los factores han sido calculados detalladamente a partir de las bases de datos del INE y AENA. Todas las variables nominales han sido deflactadas con el Índice de Precios de Consumo, siendo 2011 el año base.

La tabla de estadísticos descriptivos de las variables nos permite apreciar las diferencias de los aeropuertos españoles en cuanto a costes, ingresos y nivel de output. Por esta razón, AENA establece una agrupación de los aeropuertos en cinco categorías.

Las estimaciones se han llevado a cabo a través de dos modelos: MCO, porque es el modelo clásico en econometría y porque su sencillez nos permite estimar e interpretar los parámetros con facilidad; y MC2E, debido a la posible endogeneidad de variables como el precio del capital o los outputs. A pesar de esto, los resultados ponen de manifiesto que no es necesaria la estimación por mínimos cuadrados en dos etapas.

En base al objetivo del trabajo y a los resultados obtenidos, podemos establecer una serie de conclusiones. En primer lugar, las variables dummies explican en gran medida los costes de los aeropuertos (totales y variables) ya que el tamaño de los mismos determina el coste. A medida que un aeropuerto crece, lo hacen también sus empleados (coste del trabajo), sus instalaciones (coste del capital) y los recursos que utiliza (coste de los materiales). Por este motivo, los coeficientes de los factores productivos tienen signo positivo en todos los modelos estimados, a excepción del precio del capital a largo plazo. En segundo lugar, los costes marginales de corto plazo son inferiores a los de largo, y es que desde una perspectiva de corto plazo el capital es un input fijo, de manera que no se incluye el coste del capital. Y en tercer lugar, las economías de escala. Los resultados muestran la existencia de rendimientos crecientes, tanto a corto como a largo plazo. Según Martín et al. (2011) *“la existencia de rendimientos a escala genera algunas dudas acerca de la conveniencia de los sistemas multi-aeropuertos situados en el mismo área de influencia, a menos que los aeropuertos individuales estuvieran muy congestionados y no pudieran ampliarse”*.

En cuanto a las implicaciones de política económica, hay que resaltar que tal vez sería beneficioso permitir que cada aeropuerto fijase sus propias tasas, en lugar de una política tarifaria uniforme, ya que, como vemos en los gráficos del capítulo 2, el coste medio varía desde los 8€ hasta 1€, y en cambio el ingreso medio es más constante, entre los 3,5€ y 1,5€. Esto se debe a la heterogeneidad entre los aeropuertos, de manera que si cada uno aplicara unas tarifas acorde a sus características se podría aumentar la eficiencia del sistema aeroportuario.

**ANEXO I: TABLAS DE RESULTADOS**

Tabla 1. Estadísticos de resumen

<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>C.V</b>
<i>Costes totales</i>	Millones €	55,133	17,590	2,1338	739,668	121,013	2,19495
<i>Costes variables</i>	Millones €	36,629	13,009	1,6888	448,30	73,868	2,0167
<i>Pasajeros</i>	Millones de personas	4,7481	1,1098	3.916*	49,8661	9,24493	1,94707
<i>Mercancías</i>	Miles Toneladas	15,584	0,34076	0	393,431	57,4357	3,68554
<i>Aeronaves</i>	Unidades	47.921	17.002	799	0,435187**	79.001,6	1,64859
<i>Precio trabajo (<math>r_l</math>)</i>	Euros	37.542	36.553	33.415	47.794,7	3.556,97	0,0947460
<i>Precio capital (<math>r_k</math>)</i>	Tanto por uno	0,13340	0,13115	0,066613	0,257318	0,0299052	0,224172
<i>Precio consumos intermedios (<math>r_{ci}</math>)</i>	Número índice	1,0698	1,0482	0,95510	1,24031	0,0923130	0,0862878
<i>Amortización (<math>g_k</math>)</i>	Millones €	18,504	5,33	0,27	291,37	47,549	2,5696
<i>WLU</i>	Miles Toneladas	492,71	118,18	0,39160	5.360,5	975,91	1,9807
<i>Capital (<math>k</math>)</i>	Millones €	334,92	72,450	7,2714	5.868,1	941,90	2,8124
Número de observaciones: 164							

\*Personas; \*\* Millones de unidades

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Estimaciones de las funciones de costes a largo plazo

<b>Variable</b>	<b>Modelo 1</b> (TC OLS)	<b>Modelo 2</b> (TC TSLS)	<b>Modelo 3</b> (TC OLS dg)	<b>Modelo 4</b> (TC TSLS dg)
<i>constante</i>	-1,81879 (-0,2190)	-2,47774 (-0,3005)	6,32582 (1,116)	5,51995 (0,9816)
<i>ln rk</i>	-0,136873 (-0,5897)	-0,284041 (-1,039)	-0,0836234 (-0,5285)	-0,269344* (-1,734)
<i>ln rl</i>	0,875987 (1,140)	0,920929 (1,213)	0,606212 (1,171)	0,657168 (1,28)
<i>ln rci</i>	1,18182 *** (2,912)	1,27867*** (3,071)	0,835504*** (3,075)	1,05253*** (3,95)
<i>ln WLU</i>	0,231818 ** (2,124)	0,218211** (1,998)	0,227013*** (3,585)	0,218422*** (3,536)
<i>ln aeronaves</i>	0,489636 *** (2,834)	0,504298*** (2,947)	0,156619* (1,764)	0,158866* (1,906)
<i>g2</i>	-	-	-1,06546 *** (-5,271)	-1,00348*** (-5,098)
<i>g3</i>	-	-	-1,66505 *** (-8,831)	-1,63771*** (-9,327)
<i>g4</i>	-	-	-2,03744 *** (-9,148)	-2,02628*** (-9,699)
<i>g5</i>	-	-	-2,19495 *** (-7,662)	-2,17807*** (-7,964)
R <sup>2</sup>	0,902342	0,906067	0,961037	0,965434

Estadístico T o z en paréntesis \* significativa al 10%, \*\* significativa al 5%, \*\*\* significativa al 1%.

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Estimaciones de las funciones de costes a corto plazo

<b>Variable</b>	<b>Modelo 5</b> (VC OLS)	<b>Modelo 6</b> (VC TSLS)	<b>Modelo 7</b> (VC OLS dg)	<b>Modelo 8</b> (VC TSLS dg)
<i>constante</i>	-1,41445 (-0,2472)	-1,05652 (-0,1785)	3,82420 (0,6747)	4,69414 (0,8101)
<i>ln k</i>	0,280946*** (3,998)	0,286628*** (4,287)	0,116393* (1,923)	0,120598* (1,907)
<i>ln rl</i>	0,617643 (1,144)	0,583920 (1,039)	0,550209 (1,119)	0,435907 (0,8599)
<i>ln rci</i>	0,369800 ** (2,012)	0,407111* (1,865)	0,249508 (1,495)	0,386526** (2,139)
<i>ln WLU</i>	0,170610*** (2,727)	0,166770** (2,450)	0,230027*** (3,821)	0,235113*** (3,455)
<i>ln aeronaves</i>	0,318617*** (3,297)	0,315233*** (3,225)	0,172471** (2,554)	0,181656*** (2,629)
<i>g2</i>	-	-	-0,65717*** (-3,240)	-0,635766*** (-3,125)
<i>g3</i>	-	-	-1,11826*** (-4,748)	-1,08300*** (-4,621)
<i>g4</i>	-	-	-1,38715*** (-4,971)	-1,33822*** (-4,796)
<i>g5</i>	-	-	-1,37738*** (-3,767)	-1,27479*** (-3,3)
R <sup>2</sup>	0,94387	0,942446	0,963909	0,965633

Estadístico T o z en paréntesis \* significativa al 10%, \*\* significativa al 5%, \*\*\* significativa al 1%.

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Economías de escala a largo plazo

<b>Variable</b>	<b>Modelo 1</b> (TC OLS)	<b>Modelo 2</b> (TC TSLS)	<b>Modelo 3</b> (TC OLS dg)	<b>Modelo 4</b> (TC TSLS dg)
$(\varepsilon_{WLU} + \varepsilon_{mov})^{-1}$	1,386	1,384	2,6	2,65

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Economías de escala a corto plazo

<b>Variable</b>	<b>Modelo 5</b> (VC OLS)	<b>Modelo 6</b> (VC TSLS)	<b>Modelo 7</b> (VC OLS dg)	<b>Modelo 8</b> (VC TSLS dg)
$(\varepsilon_{WLU} + \varepsilon_{mov})^{-1}$	2,04	2,075	2,48	2,4

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Costes marginales (media 2009-2012) de WLU y aeronaves a largo plazo para el Modelo 3

<b>AEROPUERTO</b>	<b>CMg WLU</b>	<b>CMg A</b>	<b>AEROPUERTO</b>	<b>CMg WLU</b>	<b>CMg A</b>
ALBACETE	93,3	462,7	MADRID	3,1	262,8
ALICANTE	2,0	180,6	MENORCA	3	193,5
ALMERÍA	4,9	179,6	MÁLAGA	2,7	220,1
ASTURIAS	2,7	163,5	MELILLA	8,4	186,2
BADAJOS	11,2	168,9	P. DE MALLORCA	1,5	127,6
BARCELONA	2,8	213,6	PAMPLONA	9,1	165,5
BILBAO	2,2	114,5	REUS	3,1	122,3
BURGOS	38,6	221,8	SALAMANCA	32,6	50,3
CORUÑA	3,7	160	SAN JAVIER	2,2	151,5
FUERTEVENTURA	2,1	156,6	SAN SEBASTIÁN	6,6	131,9
GERONA	1,6	122,1	TENERIFE S.	1,9	194,3
GRANADA	3,6	170,5	TENERIFE N.	2	94,7
HIERRO	8,8	239	SANTANDER	2,8	116,5
IBIZA	1,8	110,1	SANTIAGO	3,3	243,1
JEREZ	4,7	83,8	SEVILLA	2,2	123,9
LANZAROTE	1,7	134	VALENCIA	2,3	108,9
LA PALMA	4,9	185,7	VALLADOLID	4,9	163,2
LA RIOJA	63	300	VIGO	4,4	219,7
LA GOMERA	39,1	436,3	VITORIA	11,8	376,2
LEON	20,7	278,1	ZARAGOZA	3,1	200,9
GRAN CANARIA	1,6	109,1	<b>MEDIA</b>	<b>10,4</b>	<b>186,4</b>

CMg WLU expresado en €/100Kg, CMg Aeronaves expresado en €

Fuente: elaboración propia

Estimación de funciones de costes de corto y largo plazo para los aeropuertos españoles 2009-2012

Tabla 7. Costes marginales (media 2009-2012) de WLU y aeronaves a corto plazo para el Modelo 7

AEROPUERTO	CMg WLU	CMg A	AEROPUERTO	CMg WLU	CMg A
ALBACETE	58,6	330,9	MADRID	1,9	174
ALICANTE	1,3	131,2	MENORCA	2,1	142,3
ALMERÍA	3,5	138,1	MÁLAGA	1,8	157,1
ASTURIAS	2,1	136,9	MELILLA	5,9	143,2
BADAJOS	8,4	134,8	P. DE MALLORCA	1,1	105,9
BARCELONA	1,8	148,9	PAMPLONA	6,8	135,8
BILBAO	1,5	84,6	REUS	2,2	97,1
BURGOS	23	144,1	SALAMANCA	25,7	43,4
CORUÑA	2,8	130,7	SAN JAVIER	1,5	115,3
FUERTEVENTURA	1,4	113,7	SAN SEBASTIÁN	5,3	115,6
GERONA	1,2	94,5	TENERIFE S.	1,4	154,9
GRANADA	2,7	137,5	TENERIFE N.	1,5	74,5
HIERRO	7,6	223,5	SANTANDER	2	89,3
IBIZA	1,3	89	SANTIAGO	2,3	186,5
JEREZ	3,6	70	SEVILLA	1,7	102,3
LANZAROTE	1,4	116	VALENCIA	1,7	86,8
LA PALMA	3,2	130,7	VALLADOLID	3,7	136,2
LA RIOJA	48,5	250,8	VIGO	3,1	169,6
LA GOMERA	28,5	348,1	VITORIA	9,7	334,2
LEON	10,7	156,8	ZARAGOZA	2,0	144,1
GRAN CANARIA	1,3	93,2	<b>MEDIA</b>	<b>7,3</b>	<b>144,2</b>

CMg WLU expresado en €/100Kg, CMg Aeronaves expresado en €

Fuente: elaboración propia

## ANEXO II: METODOLOGÍA

Los dos modelos econométricos que se han utilizado para estimar en este trabajo son el de mínimos cuadrados ordinarios y el de mínimos cuadrados en dos etapas. A través de Wooldridge (2006, capítulo 15) está detallado el modelo MC2E y el contraste de endogeneidad.

### Estimador MC2E

Debido al problema de endogeneidad, resulta conveniente utilizar el modelo de mínimos cuadrados en dos etapas, que considera que parte de las variables explicativas pueden ser endógenas. En este caso, consideramos que las variables output (WLU y aeronaves) y el precio del capital son endógenas, es decir, los aeropuertos no pueden decidir sobre ellas.

Si  $x$  está correlacionada con el error y queremos obtener estimadores consistentes, debemos estimar por variables instrumentales. Tenemos una variable instrumental,  $z$ , que no observamos y que cumple estas dos ecuaciones:

1. Condición de exogeneidad.  $Cov(z, u) = 0$

2. Condición de relevancia.  $Cov(z, x) \neq 0$

Especificamos el siguiente modelo estructural:

$$y = \beta_0 + \beta_1 y_2 + \beta_2 z_1 + u_1$$

donde  $y_2$  es la variable endógena y  $z$  la exógena. Además se cumplen las siguientes condiciones:

$$E(u_1) = 0, Cov(z_1, u_1) = 0 \text{ y } Cov(y_2, u_1) \neq 0$$

Lo que tenemos que hacer es buscar un instrumento para la variable endógena,  $z_2$ , que esté correlacionada con  $y_2$ , así que especificamos el modelo reducido:

$$y_2 = \pi_0 + \pi_1 z_1 + \pi_2 z_2 + v_2$$

Donde se cumple que  $E(v_2) = 0$ ,  $Cov(z_1, v_2) = 0$  y  $Cov(z_2, v_2) = 0$

Entonces se estima este último modelo por MCO y se contrasta si  $\pi_2 = 0$ .

El estimador de variables instrumentales es:

$$\widehat{\beta}_1 = \beta_1 + \frac{Cov(z, u)}{Cov(z, x)}$$

### Contraste de endogeneidad

Si la variable que sospechamos que puede ser endógena no lo es, sería mejor utilizar el método MCO. Para saber si es necesario el método MC2E realizamos el contraste de endogeneidad de Hausman (1978). Tenemos el siguiente modelo, que denominamos ecuación estructural.

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1 y_2 + \beta_2 z_1 + \beta_3 z_2 + u_1$$

Estimación de funciones de costes de corto y largo plazo para los aeropuertos españoles 2009-2012

donde  $z_1$  y  $z_2$  son exógenas, y  $z_3$  y  $z_4$  son variables instrumentales exógenas que no aparecen en el modelo.

Lo que debemos hacer es comparar las estimaciones de MCO y las de MC2E, y si su diferencia es significativa, es que  $y_2$  es endógena.

Para llevar a cabo el contraste debemos seguir los siguientes pasos:

1. Estimar por MCO y obtener los residuos  $\hat{v}_2$ .

$$y_2 = \pi_0 + \pi_1 z_1 + \pi_2 z_2 + \pi_3 z_3 + \pi_4 z_4 + v_2$$

2. Añadir los residuos a la ecuación estructural y contrastar su significatividad. Si rechazamos la hipótesis nula,  $y_2$  es endógena.

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1 y_2 + \beta_2 z_1 + \beta_3 z_2 + \delta_1 \hat{v}_2 + e$$

$$H_0: \delta_1 = 0$$

## BIBLIOGRAFÍA

AENA [sitio web]. 2014. Estadísticas. [Consulta: 26 Marzo 2014]. Disponible en: <http://www.aena-aeropuertos.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

AENA [sitio web] 2014. Cuentas de resultados. [Consulta: 26 Marzo 2014]. Disponible en: <http://www.aena-aeropuertos.es/csee/Satellite/conocenos/es/Page/1237564471113//Cuentas-de-resultados.html>

AENA [sitio web]. 2014. Guía de tarifas varios años. [Consulta: 24 Abril 2014]. Disponible en: <http://www.aena-aeropuertos.es/csee/Satellite/comercial/es/> y <http://www.aena-aeropuertos.es/csee/ccurl/609/847/guia-tarifas-aena-aeropuertos-2012.pdf>

AENA [sitio web]. 2014. Memorias AENA varios años. [Consulta: 30 Marzo 2014]. Disponible en: <http://www.aena.es/csee/Satellite/Aena/es/Page/1237546674454/>

AENA [sitio web]. 2014. Quiénes somos. [Consulta: 30 Marzo 2014]. Disponible en: <http://www.aena-aeropuertos.es/csee/Satellite/conocenos/es/Page/1237548071568//Quienes-somos.html>

BOTTASSO, A., CONTI, M. (2010). An assessment on the Cost Structure of the UK Airport Industry: Ownership Outcomes and Long Run Cost Economies. IEF Working Paper Número: 35. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=1618318> o <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1618318>

COTO MILLÁN, P., CASARES-HONTAÑÓN, P., INGLADA, V., AGÜEROS, M., PESQUERA, M.A., BADIOLA, A. 2014. Small is beautiful? The impact of economic crisis, low cost carriers, and size on efficiency in Spanish airports (2009-2011). *Journal of Air Transport Management*. Volumen: 40. Páginas: 34-41. [Consulta: 6 Julio 2014]. ISSN: 0969-6997. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096969971400057X>

ESPAÑA, 2010. Real Decreto-ley 13/2010, de 3 de diciembre. *Boletín Oficial del Estado* [en línea], pp. 101056-101057. [Consulta: 23 Abril 2014]. Versiones html, pdf, epub, con texto consolidado. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-18651](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-18651)

Estimación de funciones de costes de corto y largo plazo para los aeropuertos españoles 2009-2012

HAUSMAN, J.A. 1978. Specification test in econometrics. *Econometrica*. Volumen: 46. Páginas: 1251-1271.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. [Sitio web]. 2014. [Consulta: 26 Marzo 2014]. Disponible en: <http://www.ine.es/>

MARTÍN, J.C., ROMÁN, C., VOLTES-DORTA, A. 2011. Scale economies and marginal costs in Spanish airports. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*. Volumen: 47. Número: 2. Páginas: 238-248.

McCARTHY, P.S. 2001. *Transportation Economics: Theory and Practice: A Case Study Approach*. Oxford: Blackwell Publishers.

OCDE (2001). [Sitio web] Measurement of capital stocks, consumption of fixed capital and capital services. [Consulta: 16 Mayo 2014]. Disponible en <http://www.oecd.org/std/na/1876369.pdf>

SALAZAR DE LA CRUZ, F. 2012. *Aeropuerto y empresa*. Barcelona: Apuntes de clase. Trabajo no publicado.

WOOLDRIDGE, JEFFREY. M. 2006. *Introducción a la econometría. Un enfoque moderno*. 2ª edición. Madrid: International Thomson Paraninfo.

**Software:**

Gretl: Página oficial del software: <http://gretl.sourceforge.net>

Guía del usuario: <http://www.sarriko-online.com/cas/fichas/2009/08-09.pdf>