

Estudios de Economía Aplicada  
N.º 9, 1998 – Págs. 159-169

# **Implicaciones en la utilización de una variable agregada para medir la producción de los aeropuertos españoles**

ROBERTO RENDEIRO MARTÍN-CEJAS<sup>1</sup>  
*Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*

Esta nueva versión incluye todas las correcciones sugeridas por el evaluador, las cuales me han parecido oportunas y por las que le quedo muy agradecido.

## RESUMEN

Un aspecto muy importante en el análisis econométrico de la función de producción (costes) en el ámbito de la economía del transporte es la definición de la variable que representa el output de la industria. La utilización de variables de producción inapropiadas conduce, en el peor de los casos, a conclusiones erróneas respecto a la tecnología en estudio. Problemas relacionados con la agregación de diferentes tipos de tráficos (pasajeros y carga), regiones y tamaños de las unidades de producción son destacados por la mayoría de los autores (véase Jara Díaz, 1982 y Harris, 1978). Otro factor relevante, también señalado en la literatura, se refiere a la correlación existente entre las diferentes medidas del output. La presencia de multicolinealidad entre las variables ocasiona que los coeficientes de regresión estimados no midan los efectos individuales sobre la variable respuesta sino que reflejan un efecto parcial sobre la misma que depende de todas las demás variables predictivas (independientes). En mayor medida, el objetivo de este estudio está relacionado con este último aspecto. Mediante la formulación de un modelo ad hoc de costes (véase Doganis y Thompson, 1973) pretendemos analizar las implicaciones que tiene la utilización de una medida agregada de la producción para los aeropuertos españoles.

## ABSTRACT

One of the key issues in the econometric analysis of the production (cost) function in the field of transport economics is how the output measures are defined. The use of inappropriate measures of output may induce wrong conclusions about technology. Aggregation of different outputs (i.e. freight

Artículo recibido en agosto de 1997. Revisado en mayo de 1998

---

1. Deseo agradecer a los profesores D. Ginés de Rus Mendoza y Dña. Beatriz González López-Valcárcel las sugerencias aportadas a este trabajo. No obstante, cualquier error u omisión respecto a su contenido son de mi entera responsabilidad.

and passengers), regions of the country and sizes of production units are problems pointed out by literature (see Jara Díaz, 1982 and Harris, 1978). Another important aspect is the correlation between different output measures. Multicollinearity among parameters of the production (cost) function may induce bias on the estimated coefficients. Essentially the subject of this paper is related only to this last aspect. With an «ad hoc» cost function (see Doganis and Thompson, 1973) we will analyse the implications of an aggregate output measure for spanish airports' cost functions.

## **1. Introducción**

La medición del output en una empresa o infraestructura de transporte es un aspecto de crucial importancia en el estudio del sector. La determinación de parámetros tales como rendimientos a escala, elasticidades y en general cualquier análisis relacionado con la producción tiene como parte fundamental la definición de la variable que mide el output. La utilización de variables inapropiadas puede conducir a conclusiones desafortunadas respecto a la tecnología en estudio.

El objetivo del trabajo está relacionado con la posibilidad de analizar algunas características de la estructura de coste de la infraestructura aeroportuaria mediante una variable de producción que agrega los outputs pasajeros y carga. En primer lugar, en la sección 2, señalamos los antecedentes y su valoración crítica. En la sección 3 presentamos dos modelos alternativos ad hoc de costes. Uno considera las variables pasajero y carga por separado y el otro utiliza la agregación de ambas. El análisis de regresión por componentes principales, presentado en la sección 4, trata de evitar el posible problema de multicolinealidad existente entre las dos variables que mide el output de los aeropuertos cuando consideradas separadamente. Ello permitirá establecer comparaciones entre los modelos alternativos en términos de los indicadores estadístico de ajuste. Finalmente, presentamos las conclusiones que se derivan del estudio.

## **2. Antecedentes**

La mayoría de los estudios en el ámbito del transporte utilizan como medida del output una combinación de unidades transportadas por distancia (UTD)<sup>2</sup>. Dichos estudios coinciden en señalar la existencia de problemas relacionados con la agregación de diferentes tipos de tráfico (pasajero y carga), regiones, tamaños de las unidades de producción y la correlación entre las diferentes tipos de output. El principal aspecto a destacar hace referencia a la dificultad de resumir en una única clase de medida el nivel y las características del output (véase Jara Díaz, 1982 y Harris, 1978).

El output de una infraestructura aeroportuaria puede ser medido en términos del número de aviones o volumen de pasajeros o carga. Sin embargo, cada una de estas medidas del output está relacionada únicamente con una parte de la infraestructura. Las pista de aterrizajes está relacionada con el número de aviones aterrizados mientras que el tamaño del edificio terminal depende del volumen de pasajeros y carga manipulados. Ninguna de estas medidas tomadas de forma aislada explican la totalidad de los costes o ingresos generados en los aeropuertos.

---

2. UTD:units-times-distance

Doganis (1992) señala que la elección del output debe ser realizada de acuerdo a su importancia económica en términos de la generación de ingresos y costes. En ese sentido, para la mayoría de los aeropuertos europeos, la mayor proporción de ingresos y costes generados se originan en las actividades desarrolladas en el edificio terminal, tales como, manipulación de pasajeros y carga (handling). Por tanto, una medida del output que combine ambas variables abarcaría la mayor proporción de los ingresos y costes generados en el aeropuerto. Además, el volumen de pasajeros y carga es un indicador indirecto del número total de aeronaves procesado.

En el sector del transporte aéreo un pasajero equivale a 100 kg. de peso, es decir, 80 kg. de peso del pasajero más 20 kg. de peso de su equipaje. Doganis y Thompson (1973) resaltan que este concepto tiene cierta lógica para las compañías aéreas, pues está relacionado con la masa crítica de despegue de las aeronaves. Sin embargo, su relevancia para los aeropuertos parece más cuestionable. Un pasajero, o 100 Kg. de carga, no requieren el uso de cantidades similares de recursos físicos o financieros y tampoco generan los mismos ingresos. Por tanto, la utilización de la variable «UT», unidades de tráfico, (equivalente a un pasajero o a cien Kgs. de carga), parece ser inapropiada para medir el output de los aeropuertos.

### 3. El Modelo «ad hoc» de costes

La red de aeropuertos españoles consta de 39 aeropuertos, de los cuales seis son bases aéreas de utilización mixta civil-militar. Los aeropuertos de Badajoz, Córdoba, Cuatro Vientos, Sabadell, Gerona y Salamanca no verificaron tráfico de mercancías en el año 1992. Igualmente los aeropuertos del Hierro y Melilla no manejaron tráfico internacional ese año. Con el objeto de homogeneizar los datos, se excluyó del estudio a esos ocho aeropuertos.

La ecuación estimada, en forma logarítmica, fue la siguiente (ver Doganis y Thompson, 1973):

$$\ln COP = \ln \alpha + \beta_1 \ln(UT) + \beta_2 \ln(PINT) + \beta_3 \ln(DEN) + \mu$$

Donde:

COP: Coste de operación (coste de explotación + coste de personal).

UT: Unidades de Tráfico. (1 UT = un pasajero o cien kilogramos de carga).

PINT: Porcentaje de pasajeros en vuelos internacionales.

DEN: Densidad de tráfico: nº de pasajeros por m<sup>2</sup> de terminal.

$\mu$ : Término de error.

La unidad de producción «UT» (unidades de tráfico) está definida en términos agregados. Dada las características de las actividades desarrolladas en un aeropuer-

to resulta razonable suponer la existencia de economías de escala (costes decrecientes) (ver Doganis y Thompson, 1973 o Walters, 1978). El signo esperado del coeficiente a estimar es positivo, pero su valor debe ser menor que la unidad dado que un aumento en el número de unidades de tráfico procesados debe producir un incremento en menor proporción en los costes.

La variable «PINT» intenta explicar las repercusiones que tiene el tráfico internacional sobre la estructura de coste de los aeropuertos españoles. Esta variable influye en el sentido de aumentar el coste total, debido a que esta clase de tráfico necesita servicios más costosos, como por ejemplo, control de pasaportes, control de aduanas, etc. Por tanto, el signo del coeficiente a estimar debe ser positivo.

La introducción en el modelo de la variable «DEN» tiene el objetivo de captar posibles economías relacionadas con la densidad del tráfico (ver Walters, 1978). Esta variable representa una medida de la densidad de tráfico en términos de nº de pasajeros por m<sup>2</sup> de terminal. El signo esperado del coeficiente a estimar debe ser negativo.

### 3.1. Resultados

Los estimadores mínimos cuadráticos de los coeficientes son presentados en la tabla 1:

**Tabla 1: Coeficientes estimados**

Variables	Coeficientes estimados	Errores estándares	Cocientes "t"	Niveles de significación
Constante	-1.659	0.560	-2.961	0.0063
LUT	0.750	0.065	11.387	0.0001
LPINT	-0.052	0.040	-1.300	0.2047
LDEN	-0.302	0.101	-2.994	0.0058

LUT: Logaritmo natural de las unidades de tráfico.

LPINT: Logaritmo natural del porcentaje de pasajeros en vuelos internacionales.

LDEN: Logaritmo natural de la densidad de tráfico.

Inspeccionados los residuos y efectuados los contrastes correspondientes no se aprecian desviaciones de los supuestos básicos. La tabla 2 recoge el ANOVA para el modelo lineal general.

Tabla 2: Análisis de la varianza

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Prob>F
Modelos	3	25.2487	8.41623	97.538	0.0001
Error	27	2.32974	0.08629		
Total	30	27.5784			
R2	0.915				

Si consideramos cada coeficiente estimado, individualmente, podemos concluir que todas las variables, excepto «PINT», presentaron signos correctos, es decir, el sentido de influencia de las variables explicativas fue el esperado desde el punto de vista teórico. La variable «PINT» no tiene efecto sobre la variable dependiente del modelo (costes de operación), lo que puede ser debido a la multicolinealidad presente en el modelo o a su escasa relevancia en términos de la generación de costes.

Determinados aeropuertos de la red en estudio presentan características excepcionales. Por ejemplo, el aeropuerto de Barajas por su dimensión y características operativas podría distorsionar los coeficientes estimados. De igual forma, los aeropuertos con un elevado nivel de tráfico internacional o aquellos cuya situación geográfica les imprima un carácter diferenciado respecto de los demás, por ejemplo los aeropuertos de los Archipiélagos Balear y Canario, podrían ocasionar distorsiones importantes en los valores de los coeficientes estimados. Con el objetivo de detectar posibles comportamientos outliers realizamos un análisis de influencia observacional.

Los estadísticos DFFITS<sup>3</sup> y DFBETAS<sup>4</sup> permiten evaluar el cambio en la variable dependiente estimada ( $Y_e$ ) y de cada parámetro estimado ( $\beta_j$ ) respectivamente cuando excluimos del estudio una determinada observación. En términos generales, valores superiores a dos para estos estadísticos indican la existencia de influencia observacional. No obstante, de acuerdo a los resultados obtenidos la inclusión en el estudio de los aeropuertos con características excepcionales no tuvo influencia significativa sobre los parámetros estimados.

La medida agregada de la producción (UT: unidades transportadas), equivalente a 1 pasajero o 100 Kg. de carga utilizada en la estimación del modelo anterior, tiene un carácter un tanto arbitrario dado que, obviamente, 100 Kg. de carga no imponen las mismas pautas de costes que un pasajero. Estimamos el modelo considerando la

3.  $DFFITS = (Y_e - Y_e(i))/S^2(i)h_i$

4.  $DFBETAS_j = (\beta_j - \beta_j(i))/S^2(i)(X'X)^{-1}_{jj}$

variable producción en forma desagregada. Los valores obtenidos de los estimadores mínimos cuadráticos ordinarios son mostrados en la tabla 3.

**Tabla 3: Coeficientes estimados\***

Variables	Coefficientes estimados	Errores estándares	Cocientes "t"	Niveles de significación
Constante	-1.82	0.800	-2.281	0.0313
LP	0.679	0.150	4.5250	0.0001
LF	0.102	0.068	1.498	0.1467
LPINT	-0.04	0.041	-1.064	0.2973
LDEN	-0.295	0.099	-2.969	0.0065

LP: Logaritmo natural del número de pasajeros.

LF: Logaritmo natural de los Kgs. de carga.

LPINT: Logaritmo natural del porcentaje de pasajeros en vuelos internacionales.

LDEN: Logaritmo natural de la Densidad de tráfico.

\*: Considera como outputs las variables de producción pasajeros y carga.

Según los resultados anteriores, los sentidos de influencia de los parámetros estimados permanecen invariables respecto al modelo que utiliza la variable «UT». Sin embargo, los niveles de significación estadística de los coeficientes estimados son mayores que los correspondientes al modelo inicial. Por tanto, el diseño de las variables explicativas del modelo induce a pensar en la existencia de multicolinealidad entre las mismas. Las variables pasajeros y carga verifican un coeficiente de correlación de 0.93. Cuando existe un grado elevado de correlación entre las variables del modelo, una forma de mejorar la precisión de los parámetros estimados es mediante la utilización de un análisis de regresión por componentes principales.

#### **4. Análisis de regresión por componentes principales**

Este método trata de encontrar combinaciones lineales, no correlacionadas entre sí, de las variables originales que capturen el máximo de información de las mismas. Estas combinaciones son utilizadas con el objetivo de mejorar la precisión de los parámetros estimados de las variables independientes afectadas de multicolinealidad.

Para evitar que tengan diferentes pesos las variables independientes en el análisis de componentes principales, éstas se han tipificado (o estandarizado).

Se demuestra que, para variables estandarizadas, la varianza de un parámetro «K» de la regresión puede ser expresado como (ver Dunteman, 1989):

$$\sigma_{\text{est}}^2(k) \sum_{i=1}^p \frac{1}{n\lambda_i} \cdot a_{ik}^2 \quad (1)$$

Si « $\lambda_i$ » (la varianza asociada a la  $i$ -ésima componente principal) es muy pequeña y la componente  $a_{ik}$  de su vector latente asociado  $a_i$  es muy grande, según la expresión anterior, la componente principal correspondiente contribuye de forma significativa al error estándar del parámetro « $k$ » de la regresión. En cuyo caso sería razonable prescindir de esta componente en la predicción de la variable dependiente. Dicha contribución puede ser expresada como:

$$\frac{1}{\lambda_p} \cdot a_p \cdot a_p' \cdot r_{xy} \quad (2)$$

Donde  $r_{xy}$  es el vector de los coeficientes de correlación lineal de la variable dependiente "Y" con cada una de las variables independientes "X" del modelo de regresión. La tabla 4 muestra los parámetros estimados para las variables estandarizadas<sup>5</sup>.

**Tabla 4: Coeficientes estandarizados**

Variables	Coeficientes	Error estándar	cociente t
LPS	1.047	0.227	4.61
LFS	0.227	0.149	1.52
LPINTS	-0.129	0.119	-1.08
LDENS	-0.258	0.085	-3.03

Nota: La terminación «S» denota variable estandarizada.

El análisis de componentes principales arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 5: Componentes principales**

	1	2	3	4
LPS		0.98287	-0.07887	-0.05459
LFS		0.93809	-0.04854	-0.33208
LPINTS		0.89374	-0.35154	0.27215
LDENS		0.8418	0.5194	0.14487
Varianza explicada		3.3534	0.4019	0.2083
				0.036309

5. Se refiere a las variables originales menos su media y divididas por su desviación típica.



La contribución de la componente principal con varianza mínima a la varianza de los parámetros estimados, según la expresión (1) y para los valores  $\sigma_{est}^2 = 1 - R^2 = 1 - 0.9294 = 0.0706$ ,  $n=31$  y  $\lambda = 0.036309$ , así como los errores estándares corregidos, son los mostrados en la tabla 6.

**Tabla 6: Error estándar corregido**

Variable	Varianza de los parámetros estimados	Contribución a la varianza de los parámetros estimados de la componente principal con varianza mínima	Error estándar corregido(1)
LPS	0.051536	0.0015535	0.22356
LFS	0.0223030	0.0004607	0.147791
LPINTS	0.0143027	0.0002249	0.118649
LDENS	0.007264	0.00003811	0.085008

(1) Raíz cuadrada de la diferencia entre la varianza de los parámetros estimados y la contribución a la varianza de los parámetros estimados de la componente principal con varianza mínima.

Como señala Dunteman, una componente principal muy pequeña puede tener una correlación elevada con la variable dependiente. Por tanto, si prescindimos de esta componente podemos estar descartando información útil para la predicción de la variable a explicar. Sin embargo, los criterios existentes para elegir el número de componentes principales que deben ser descartadas son arbitrarios. Ello depende, en gran medida, del objetivo del análisis. Nosotros estamos interesados en los coeficientes estimados que están asociados a las variables originales en orden a explicar la existencia de una serie de fenómenos tales como la presencia de economías de escala o de densidad en las operaciones aeroportuarias. Una forma de mejorar la precisión de los coeficientes estimados afectados de multicolinealidad sería prescindir de la componente principal más pequeña (ver Dunteman, 1989). Por tanto, a los parámetros estimados (columna 2 tabla 4) debemos sustraer la componente principal que contribuye de forma más significativa al error estándar. El vector a extraer se obtiene como resultado de la aplicación de la expresión 2:

$$\frac{1}{0.036309} \begin{pmatrix} -0.15738 \\ 0.08571 \\ 0.05989 \\ 0.02465 \end{pmatrix} \cdot (-0.15738 \ 0.08571 \ 0.05989 \ 0.02465) \begin{pmatrix} 0.94533 \\ 0.91735 \\ 0.81204 \\ 0.63793 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0251 \\ 0.01367 \\ 0.00956 \\ -0.00392 \end{pmatrix}$$

Los parámetros corregidos y sus cocientes t son presentados en la tabla que detallamos a continuación:

**Tabla 7: Parámetros corregidos**

Variable	Parámetros corregidos estandarizados	Error estándar	cociente t	Parám. corregidos no estandarizados
Constante	-	-	-	-1.825
LP	1.0219	0.223	4.57	0.6643
LF	0.2406	0.1478	1.627	0.1088
LPINT	-0.1194	0.1186	-1.006	-0.0415
LDEN	-0.254	0.0852	-2.98	-0.2952

Si comparamos las tablas 4 y 7, se aprecia una ligera mejora en los errores estándares de los coeficientes estimados. Los coeficientes corregidos tampoco presentan diferencias significativas respecto a los estimados inicialmente.

## 5. Conclusiones

La utilización de una variable agregada «UT» (1 pasajero o 100 kgs de carga) como medida del output de los aeropuertos tiene un carácter un tanto arbitrario dado que 100 kgs. de carga no imponen las mismas pautas de costes que un pasajero. Sin embargo, a pesar de lo discutible que pueda resultar su diseño, en términos de imputación de costes, la comparación de los resultados de las dos formulaciones alternativas del modelo ad hoc de costes de los aeropuertos españoles permite concluir que la utilización de la variable «UT» propició una sensible mejora en la significación estadística de los parámetros estimados. En el campo del transporte aéreo y ferroviario existe abundante evidencia empírica sobre la utilización de este tipo de variable agregada, si bien conviene no perder de vista el carácter mixto de la misma.

La implicación que se deduce del análisis realizado, se centra principalmente en la posibilidad de evitar el grado elevado de colinealidad existente entre las variables explicativas del modelo propuesto. En ese sentido, la utilización de la variable «UT» permite explicar ciertas características de la estructura tecnológica de los aeropuertos españoles y posibilita la reducción del grado de correlación existente entre las variables explicativas del modelo. Dicha variable es una forma bastante arbitraria de representar la producción, sin embargo, todo conduce a pensar que la utilización de la misma, como medida agregada del «output», es una forma razonable de representar la producción conjunta en la estimación de la función de coste de los aero-

puertos. Ello parece cierto, al menos, en la ecuación de costes estimada para los aeropuertos españoles.

## **Bibliografía**

- DOGANIS, R. Y THOMPSON, G. (1973): *The Economics of British Airports*, Department of Civil Engineering, Polytechnic of Central London.
- DOGANIS, R. (1992): *The airport Business*, Routledge editions.
- DUNTEMAN, G.H. (1989): *Principal Components Analysis*, (Series: Quantitative Applications in The Social Sciences). Sage Publications.
- HARRIS, R.G. (1978): «Economies of traffic density in the rail freight industry». *The Bell Journal of Economics*, pg. 556-564.
- JARA DÍAZ, S. (1982): «The estimation of transport cost functions: a methodological review». *Transport Reviews*, Vol. 2, N° 3, pg. 257-278.
- MADDALA, G.A. (1992): *Introduction to Econometrics*, Maxwell MacMillan International Editions.
- WALTERS, A.A. (1963): «Production and cost functions: an econometric survey». *Econometrica*, Volumen 31, N° 1-2.
- WALTERS, A.A. (1978): «Airports-an economic survey». *Journal of Transport Economics and Policy*, pg.125-160.