

Una ordenación en base a índices de eficiencia para los puertos españoles

Medal Bartual, A. (Amparo.Medal@uv.es)
Departamentos de Finanzas Empresariales
Sala Garrido, R. (sala@uv.es)
Matemáticas para la Economía
Universitat de Valencia.

RESUMEN

Este trabajo analiza la eficiencia de los puertos españoles mediante la metodología FDH (Free Disposal Hull). Este método presenta la ventaja de comparar los puertos entre sí, y no a través de la proyección a la frontera como los métodos DEA (Data Envelopment Análisis) tradicionales. Esto resulta especialmente útil para los decisores ya que pueden tener una referencia clara del puerto que debe servir de orientación. Esta metodología presenta el inconveniente de producir múltiples unidades eficientes, y por ello resulta muy interesante una jerarquización de los puertos y por ello se presenta un procedimiento que permite esta ordenación, y así poder compararse con los mejores puertos.

Palabras claves: DEA; DEA-FDH; Puertos Españoles, Ranking de unidades

Área temática: Aspectos Cuantitativos Del Fenómeno Económico

ABSTRACT

This paper uses the free disposal hull (FDH) methodology to analyze the efficiency of Spanish seaports. The advantage of this method is that it enables a comparison to be made directly between the ports, whereas traditional data envelopment analysis (DEA) only enables comparisons to be made by projecting a frontier. This direct approach is especially useful for decision-makers because it provides a benchmarking reference. However, the FDH methodology suffers the disadvantage of producing many efficient units so it is difficult to obtain a hierarchical rank of in order to efficiency. This paper presents a method for producing a hierarchy of seaports for the purposes of comparison.

Keywords: DEA; DEA-FDH; Spanish Seaports, Ranking Units

Agradecimientos:

Ramón Sala quiere agradecer la financiación parcial de este trabajo a través del proyecto NOVEDAR (ref. CSD2007-00055) del Gobierno Español.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de eficiencia de las terminales portuarias es uno de los elementos básicos de la gestión de los puertos. Los responsables de la gestión portuaria tienen en la competencia de los otros puertos un elemento de referencia para tratar de orientar sus decisiones.

La metodología DEA que mide la eficiencia de cada uno de los puertos con relación a los demás es un elemento clave en este análisis. No obstante, una de las críticas de los responsables es la comparación o evaluación de puertos “ficticios” que proporciona la solución de estos modelos, ya sean con rendimientos variables o constantes.

Una forma de solventar esta problemática es utilizar un modelo DEA que compare la unidades “reales” entre sí, sin necesidad de obtener las “proyecciones” sobre la frontera de las diferentes unidades. Esto es posible mediante los conocidos como modelos DEA-FDH.

Este tipo de modelos, por su propia estructura matemática produce muchas unidades “eficientes” ya que resulta difícil, por no decir imposible, otra unidad con la que compararse. Esta multitud de unidades eficientes hace difícil poder discriminar u ordenar las unidades en función de su eficiencia. Ya que en muchas ocasiones las nuevas inversiones a realizar por el órgano coordinador deben estar priorizadas a favor de los puertos más eficientes para aumentar la competitividad, no solo con los puertos españoles sino con la competencia internacional.

Una solución a este problema es el establecer un ranking de unidades eficientes usando la metodología del análisis de tolerancias en los datos. Por tanto, este trabajo presenta un estudio de la ordenación de los 28 puertos del sistema portuario español desde 1994 a 2008.

2. METODOLOGIA DEA-FDH

Una frontera de producción eficiente define la relación entre inputs y outputs que representa la máxima cantidad de output que se puede obtener para un nivel fijado de inputs. Al hacerlo, refleja el estado actual de la tecnología disponible para una industria. Haciendo caso omiso de todas las complejidades económicas asociadas al origen particular o posible, o causa, de ineficiencia (tales como técnica –productiva–, asignación de recursos o cambiar la escala de eficiencia), en su acepción más fundamental, una DMU (Decision Making Unit o Unidad de Decisión) es considerada eficiente si esta situada en la frontera eficiente. Por otro lado, una DMU es considerada como ineficiente (por cualquier razón) si esta se sitúa debajo de la frontera de producción eficiente. Análisis envolvente de datos (DEA) y de envoltura de libre disposición (FDH) son dos de las muchas alternativas técnicas disponibles para estimar una aproximación a la frontera eficiente. Estas dos técnicas de programación matemáticas permiten medir la

distancia relativa que se encuentra una DMU individual (datos de observación) de esta frontera estimada y, por lo tanto, también producen medidas (generalmente en forma de índice) de la ineficacia relativa de la DMU individual en cuestión, en comparación con las restantes unidades de forma que esta opere con las mejores condiciones. De hecho, la DEA y FDH son dos de las técnicas no paramétricas más importantes para medir la eficiencia de DMUs con múltiples inputs y outputs. El FDH se introdujo por primera vez en Charnes, Cooper y Rhodes (1978), DEA ha sido ampliamente utilizado porque se puede aplicar en una diversa variedad de situaciones y también ha sido objeto de un número de extensiones teóricas que han aumentado su flexibilidad, facilidad de uso y aplicabilidad.

Como continuación de la metodología DEA, la técnica FDH apareció en Deprins, Simar y Tulkens (1984) y cada vez se está extendiendo su uso a muchas aplicaciones. A pesar de la amplia aplicación de DEA relativo a FDH, algunos estudiosos argumentan que FDH prevalece sobre la DEA en términos de "ajustar datos" (Tulkens, 1993, Vanden Eeckaut, Tulkens y Jamar, 1993). Tanto la DEA como la FDH tienen sus respectivos puntos fuertes y débiles (Lovell y Vanden Eeckaut, 1993). Como tal, un estudio comparativo de estos dos enfoques puede proporcionar mayor información sobre las complejidades de medir la eficiencia productiva. Esfuerzos a este respecto incluyen, entre otras cosas, la eficiencia de los municipios (Vanden Eeckaut et al, 1993) y la eficiencia de banca minorista, tribunales y tránsito urbano (Tulkens, 1993). DEA y FDH, como dos técnicas no paramétricas deterministas, no asumen ningún tipo particular forma funcional e ignoran el error de medición. En su lugar, la mejor tecnología en la práctica es la frontera de un conjunto de posibilidad de producción construido como la envoltura de las observaciones. Estos métodos extremos usan técnicas de programación matemáticas para "envolver" los datos (en trozos de una manera lineal) tan cerca como sea posible, sujeto a determinados supuestos de producción que se mantienen dentro del contexto de programación matemática. FDH asume una disponibilidad fuerte de inputs y outputs, con esto se quiere decir que para cualquier nivel dado de output(s) sigue siendo factible si cualquiera de los inputs se incrementa. Considerando como equivalente que para un nivel dado de inputs es posible aumentar los outputs. La técnica DEA agrega la condición de convexidad a los supuestos mantenidos por FDH. Las fronteras no paramétricas convexas en el contexto de la DEA permiten combinaciones lineales de unidades de producción observadas. De acuerdo con esta definición, todas las combinaciones lineales de observaciones A y C son factibles en la figura 1:

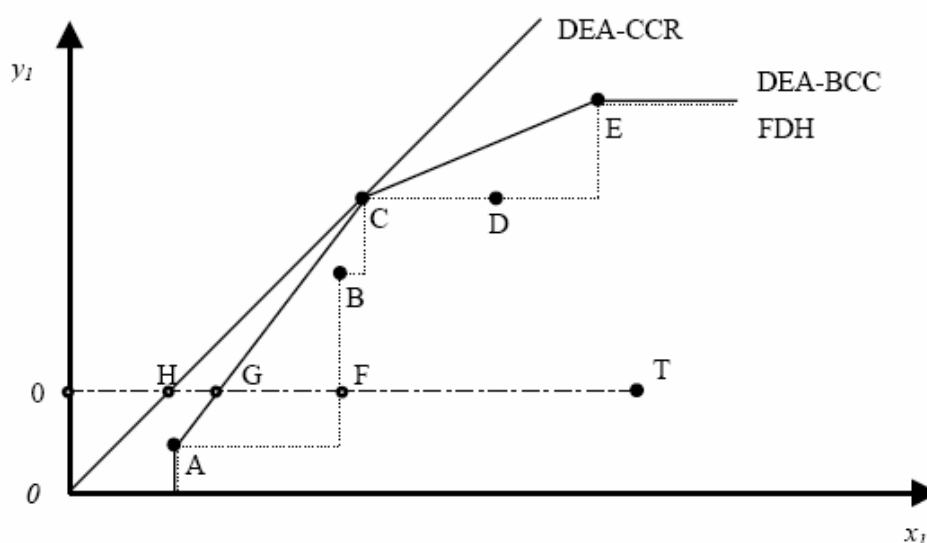


Figura 1

Pero en cambio, la unidad eficiente según FDH B no es eficiente en DEA porque está dentro de la frontera eficiente. La figura 1 ilustra los DEA-modelos más ampliamente utilizados dos: la DEA-CCR -con rendimientos constantes a escala- y el DEA-BCC -que supone rendimientos variables a escala-.

Los modelos DEA-CCR, DEA-BCC y FDH definen diferentes conjuntos de producción y resultados de eficiencia.

Así por ejemplo la unidad T, según DEA-CCR su eficiencia viene dada por el cociente entre: OH/OT , en DEA-BCC su score es: OG/OT mientras que en FDH es OF/OT .

La motivación básica para utilizar la metodología FDH frente a DEA es garantizar que se efectúen las medidas de la eficacia de actuaciones observadas realmente y no sobre las proyecciones que si se permiten en DEA y por lo tanto son hipotéticas unidades.

Dadas $K = 1, 2, \dots, k, \dots, K$ unidades de producción o DMU's, que cada una de ellas usa un vector de inputs $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_N^k)_{(N \times 1)}$ para generar un vector de outputs $y^k = (y_1^k, y_2^k, \dots, y_M^k)_{(M \times 1)}$, donde λ es un vector de variables de intensidad $(K \times 1)$. La medida de eficiencia θ se obtiene al resolver para cada una de las unidades k' el siguiente problema de programación lineal entera:

$$\begin{aligned}
 E_I(y^k, x^k) &= \text{Min } \theta \\
 \text{s.a} \\
 \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{km} &\geq y_{k'm} \quad m=1, \dots, M \\
 \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{kn} &\leq \theta x_{k'n} \quad n=1, \dots, N \\
 \sum_{k=1}^K \lambda_k &= 1, \quad k=1, \dots, K \\
 \lambda_k &\geq 0, \quad k=1, \dots, K \\
 \lambda &\in \{0,1\}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Es un problema de programación entera porque las variables λ son variables binarias, es decir, solamente pueden tomar valores 0 o 1, a diferencia de los modelos DEA que solamente exigen la linealidad. Es decir, si al modelo 1 se le elimina la última condición: $\lambda \in \{0,1\}$, se tiene un modelo DEA-BCC, y si se le elimina además la condición de convexidad:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1, \quad k=1, \dots, K \quad \text{se tiene un modelo DEA-CCR.}$$

3. PROCEDIMIENTO DE RANKING

El uso de los modelos FDH genera muchas unidades eficientes, es decir con valor 1, debido a lo apuntado anteriormente de la dificultad de compara con unidades similares.

Uno de los errores generados por muchos investigadores es ordenar las unidades según su score de eficiencia, lo cual produce en este caso múltiples empates en la primera posición.

Aunque existen diversos métodos de ordenación de unidades, se seguirá el procedimiento desarrollado en Boscá et al. (2010), inspirado en el trabajo de Bonilla et al. (2004), que supone la resolución de un conjunto de modelos DEA-FDH con diferentes combinaciones de los inputs y outputs suponiendo una tolerancia o posibles variaciones en los mismos,

Cada uno de los inputs y de los outputs esta sometido a posibles variaciones, que denominamos tolerancias¹. El procedimiento requiere los siguientes pasos:

Paso 1: Obtener los siguientes valores de inputs y outputs:

$$x_{ij}^L = x_{ij} - t_{ij}^L \qquad x_{ij} \qquad x_{ij}^U = x_{ij} + t_{ij}^U$$

$$y_{rj}^L = y_{rj} - w_{rj}^L \quad y_{rj} \quad y_{rj}^U = y_{rj} - w_{rj}^U$$

Siendo: x_{ij} los inputs, y_{rj} los outputs, t_{ij}^L (t_{ij}^U) las tolerancias (o posibles variables) de los inputs por la izquierda (derecha) y w_{rj}^L (w_{rj}^U) las tolerancias (o posibles variables) de los outputs por la izquierda (derecha).

Paso 2: Para cada una de las posibles combinaciones de esos valores ($3^4= 81$ problemas) resolver el modelo (1), y obtener su score de eficiencia (θ_{j0}).

Paso 3: Construir el conjunto de todos los scores de eficiencia obtenidos en el Paso 2

$$\Gamma_{j0} = \{\theta_{j0}\}$$

Paso 4: Calcular los siguientes ratios:

$$R_{j0}^1 = \frac{e_{j0}}{\text{card}(\Gamma_{j0})} \quad \text{y}$$

$$R_{j0}^2 = \begin{cases} \frac{S_{j0} - e_{j0}}{\text{card}(\Gamma_{j0}) - e_{j0}} & \text{si } \text{card}(\Gamma_{j0}) \neq e_{j0} \\ 0 & \text{si } \text{card}(\Gamma_{j0}) = e_{j0} \end{cases}$$

Donde: e_{j0} es el número de veces que la unidad $j0$ es eficiente. $S_{j0} = \sum_{j0} \theta_{j0}$, y para este problema² $\text{card}(\Gamma_{j0}) = 81$.

El índice R^1 podría interpretarse como el porcentaje de veces que la unidad es eficiente, mientras que R^2 nos proporciona un indicador de la ineficiencia media de la unidad. Es decir, el coeficiente R^1 esta asociado con la eficiencia y el R^2 con al ineficiencia de la unidad.

Con ello se tienen que:

La Unidad A es preferible a la B, si: $R_A^1 > R_B^1$ o $\left[R_A^1 = R_B^1 \text{ y } R_A^2 > R_B^2 \right]$

La Unidad A es equivalente a B si: $R_A^1 = R_B^1 \text{ y } R_A^2 = R_B^2$

¹ El proceso empleado para obtenerlas puede consultarse Bonilla et al (2004).

4. PUERTOS ESPAÑOLES

Los puertos españoles configuran un eje neurálgico en el desarrollo del transporte marítimo a nivel internacional y una plataforma logística para todo el Sur de Europa. Sus más de siete mil novecientos kilómetros de costa y un emplazamiento geográfico estratégico, confirman al territorio nacional como un punto de especial interés por sus establecimientos portuarios.

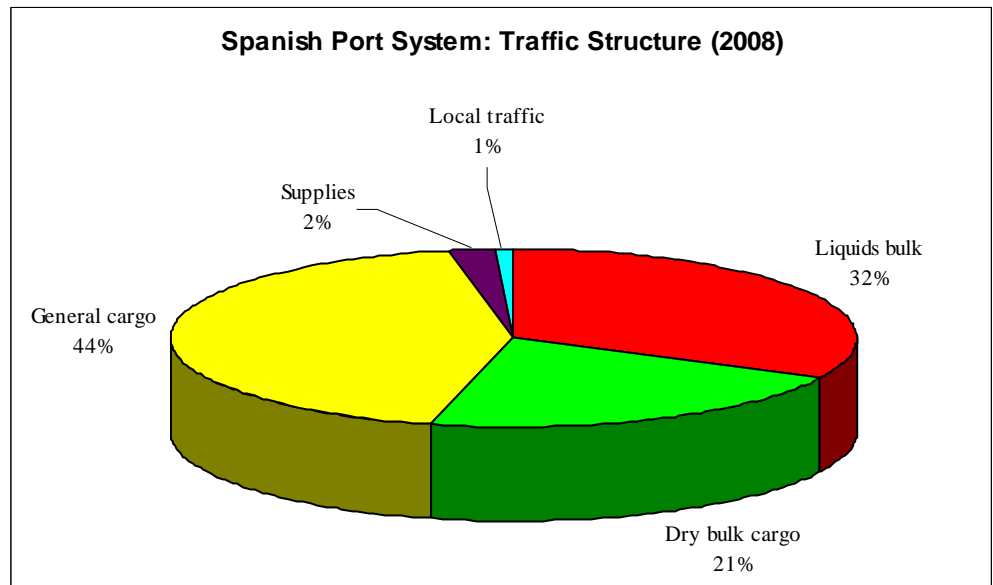
En concreto, el Sistema Portuario Español está integrado por 53 puertos de Titularidad Estatal, gestionados por 28 Autoridades Portuarias (AAPP), que movieron en el 2008 un total de 473,6 millones de toneladas.

En nuestro caso, vamos a abordar el análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español (SPE) considerando como output el tráfico que pasa por las instalaciones de los principales puertos de las 28 Autoridades Portuarias o DMUs objeto de estudio.

El output analizado recoge la estructura tradicional de los tráficos, diferenciando entre Graneles Líquidos, Graneles Sólidos y los de Mercancía General incluyendo en estos últimos el tráfico de Contenedores, para el período comprendido desde 1994 hasta 2008. La estructura del tráfico total, en el 2008, es la que se refleja en el gráfico 1.

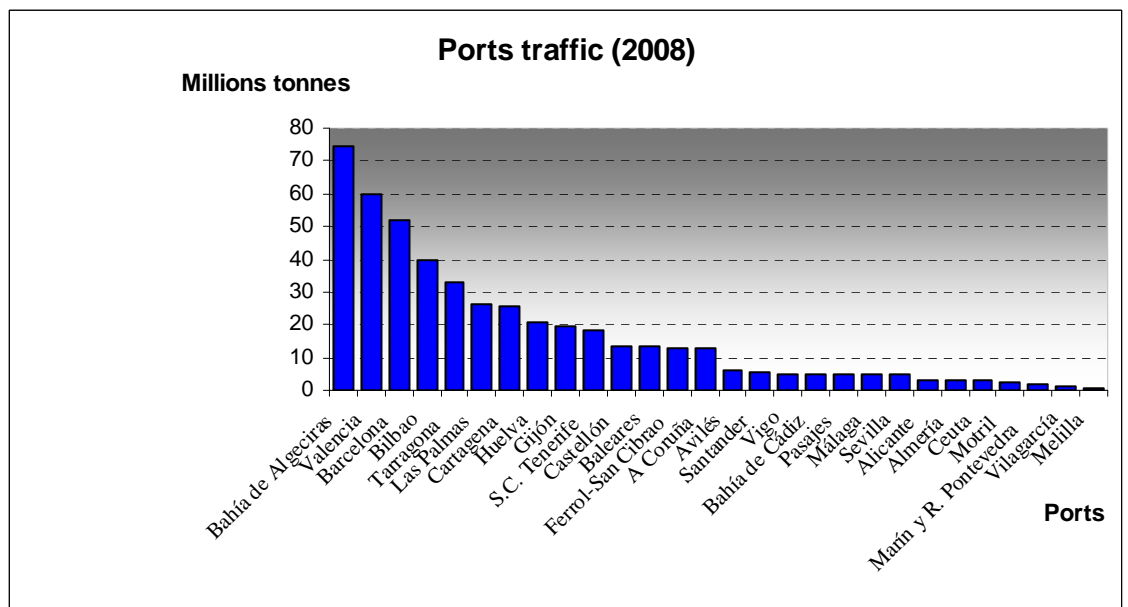
² Para problemas de eficiencia medioambiental donde existen inputs, outputs y outputs no deseables, el total de problemas a resolver es de 729.

Gráfico1



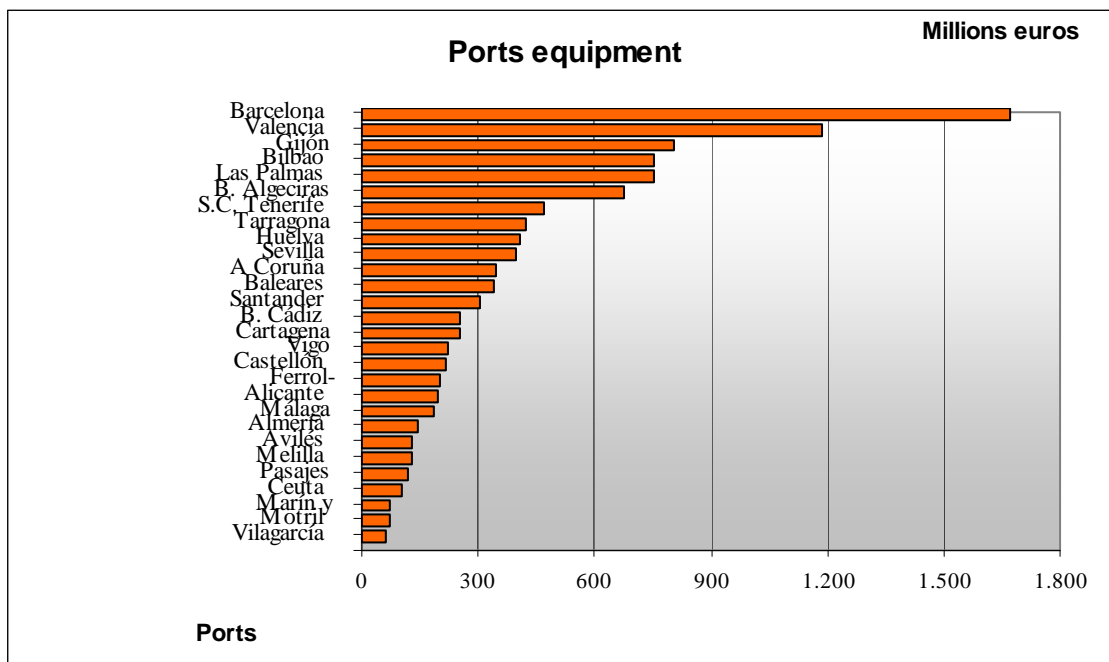
Este tráfico no está distribuido uniformemente en todos los puertos, sino que tan solo 7 puertos (Bahía de Algeciras, Valencia, Barcelona, Bilbao, Tarragona, Las Palmas, y Cartagena) soportan el 65,86% del tráfico total del sistema, tal y como se deduce del Gráfico 2, en el que se muestra la distribución del tráfico total por puertos.

Gráfico2



Como input, se ha seleccionado el inmovilizado de cada uno de los puertos, siguiendo la línea investigadora de Bonilla et al. (2002). Como se muestra en el Gráfico 3, no todos los puertos tienen la misma dimensión, destacando por su tamaño los puertos de Barcelona y Valencia.

Gráfico3



No todos los puertos compiten en similares escenarios, y no todos pueden disponer de las mismas infraestructuras y tráfico. Pero un análisis de eficiencia nos indicará que puertos gestionan mejor sus recursos y ello permitirá a los puertos considerados como ineficientes el tener una guía o modelo donde compararse.

La aplicación del modelo (1) a estos datos, se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1: Scores anuales FDH

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Almería	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ferrol-San Cibrao	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gijón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Motril	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Alicante	1	0,4970	0,4577	0,4688	0,4707	1	1	1	1	0,9762	1	1	1	1	0,9476
Avilés	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bahía de Cádiz	1	0,8226	0,8792	0,9033	0,9083	0,9494	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Marin y Ria de Pont	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pasajes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Santander	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6993
Sevilla	1	0,9464	0,9548	1	1	0,9240	0,9553	1	0,4760	1	1	1	1	1	1
Vilagarcía	1	0,98945	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bahía de Algeciras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Baleares	1	0,899	0,965	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Barcelona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Las Palmas	0,7648	0,4859	0,5063	0,5389	0,5682	0,5722	0,5686	0,5592	0,5524	0,5637	0,5812	0,6516	0,7473	0,8521	0,8958
Melilla	1	1	1	1	1	0,9516	0,8741	0,8526	0,8858	1	1	1	1	0,8691	0,8049
Valencia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vigo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8561	1
A Coruña	1	1	1	1	1	1	1	0,9992	1	1	1	1	1	1	0,6199
Bilbao	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cartagena	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Castellón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ceuta	1	1	1	1	1	1	1	0,9814	1	0,9430	0,9930	1	1	1	1
Huelva	1	0,8521	0,8641	1	0,9279	0,9684	1	0,9850	0,951	0,9278	0,9094	1	1	1	1
Málaga	1	1	1	1	1	1	0,6057	0,4426	0,439	0,5130	0,5601	1	1	1	1
S. C. Tenerife	0,7974	0,6117	0,6328	0,6975	0,7697	0,7773	0,7882	0,7862	0,818	0,8859	0,9377	1	1	1	1
Tarragona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Efficients Units	26	20	21	24	23	22	21	21	22	22	23	27	27	25	23

Como puede observarse en todos los años, muchas unidades son consideradas como eficientes, lo que supone que más de 23 unidades (en promedio) son eficientes en cada uno de los años analizados. Ello significa que cada uno de los puertos eficientes solamente se compara con él mismo, sin tener la consideración los demás puertos. Ello significa que no tiene referencias de los otros puertos ya que sus características no coinciden exactamente con otros puertos.

En la Tabla 1 se han resaltado de forma especial los puertos de Algeciras y Valencia. Los dos, junto con otros, son eficientes en todos los años de la serie, pero el puerto de Bahía de Algeciras como se señala en Bonilla et al. (2002) es un unidad influyente³, es decir, una unidad que puede distorsionar el análisis global de los restantes puertos. Valencia, es uno de los puertos que por sus especiales características y evolución reciente merecerá posteriormente un análisis más detallado.

La exclusión del puerto de Bahía del Algeciras del análisis, ha supuesto realizar un nuevo análisis pero sólo con 27 puertos. Los resultados pueden verse en la Tabla 2. En este caso más de 24 puertos (en promedio) pueden ser considerados como eficientes en cada año.

Tabla 2: Scores anuales FDH sin FDH

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Almeria	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ferrol-San Cibra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gijón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Motril	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Alicante	1	0,4970	0,4577	0,4688	0,4707	1	1	1	1	0,97621	1	1	1	1	0,9476
Avilés	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bahía de Cádiz	1	1	1	0,9033	0,9083	0,94944	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Marín y Ría de P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pasajes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Santander	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6993
Sevilla	1	0,9464	0,9548	1	1	1	1	1	0,47603	1	1	1	1	1	1
Vilagarcía	1	0,9895	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Baleares	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Barcelona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Las Palmas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Melilla	1	1	1	1	1	0,95163	0,8741	0,8526	0,88577	1	1	1	1	0,8691	0,8049
Valencia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vigo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8561	1
A Coruña	1	1	1	1	1	1	1	0,9992	1	1	1	1	1	1	0,6199
Bilbao	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cartagena	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Castellón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ceuta	1	1	1	1	1	1	1	0,9814	1	0,9430	0,99295	1	1	1	1
Huelva	1	0,8521	0,8641	1	0,9279	0,96836	1	0,9850	0,9508	0,9278	0,90941	1	1	1	1
Málaga	1	1	1	1	1	1	1	0,6057	0,4426	0,43944	0,5130	0,56013	1	1	1
S.C. Tenerife	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tarragona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Efficients Units	27	23	24	25	24	24	24	22	23	23	24	27	27	25	23

A la vista de las tablas anteriores resulta muy difícil establecer un orden o priorización de unos puertos sobre otros ya que los múltiples empates de unidades eficientes dificultan el proceso.

³ Basta con observar las Figuras 2 y 3, donde se visualiza su gran tráfico con una infraestructura de carácter medio.

Ello resulta de poco interés a los gestores ya que un puerto sea declarado como eficiente significa que hace “bien” sus tareas y por tanto no cabe cambiar para mejorar, pero esto puede suponer una visión errónea ya existen otros puertos que hacen las cosas “mejor”, pero como no son exactamente comparables, es por lo que se produce esta impresión equivocada, y por ello los gestores deberían buscar estas unidades que hacen “mejor” las labores.

Una alternativa supone la fijación de unas tolerancias para poder aplicar el proceso de ordenación o establecimiento del ranking. En este caso se ha optado por considerar unas tolerancias comunes para todos los puertos y simétricas, es decir, iguales por la izquierda y por la derecha. Los valores de estas tolerancias han sido la media de las tolerancias individuales calculadas para cada puerto por Medal (2010) usando la metodología descrita en Bonilla et al. (2004), es decir, del 11 por ciento para los tráficos de Graneles Líquidos, del 8 por ciento para los Graneles Sólidos, del 9 por ciento para la mercancía General y del 10 por ciento para el Inmovilizado Neto como input.

5. RANKING

La aplicación de los valores de las tolerancias al proceso descrito en el epígrafe 3 supone la resolución de los 81 problemas para cada uno de los puertos y la obtención de los correspondientes indicadores R^1 y R^2 para cada uno de ellos.

La tabla 3 recoge solamente como ejemplo los valores para el año 1994. A partir de estos valores (e igual para el resto de los años) de cada uno de esos indicadores y con ellos se determina el orden establecido, así podemos observar que tanto el Puerto de Ferrol-San Cibrao como Bahía de Algeciras tienen el mismo valor de R^1 pero Ferrol tiene un R^2 superior a Bahía de Algeciras, y por ello alcanza la primera posición.

También puede destacarse que Motril tiene un R^1 inferior a Ferrol y a Algeciras, y por ello ocupa una posición posterior a ellos, es decir, la tercera.

De la misma forma, se ha procedido con los restantes puertos, situando a cada uno de ellos en el orden establecido por los valores de R^1 y R^2 .

La tabla 4 recoge para cada puerto el número de orden alcanzado en cada uno de los años. En particular en la Tabla 4 se han resaltado los puertos de Algeciras y Valencia.

Tabla 3: Ordenación según R^1 y R^2

Port	R1	R2	Orden
Ferrol-San Cibrao	0,9877	0,9140	1
Bahía de Algeciras	0,9877	0,7213	2
Motril	0,9259	0,8288	3
Castellón	0,9259	0,7068	4
Ceuta	0,8889	0,6246	5
Almería	0,8889	0,5356	6
Melilla	0,8519	0,7750	7
Tarragona	0,8519	0,5070	8
Avilés	0,8272	0,6450	9
Baleares	0,8272	0,6432	10
Barcelona	0,8272	0,5252	11
Bilbao	0,8272	0,4806	12
Málaga	0,8148	0,6120	13
Gijón	0,8148	0,4051	14
Valencia	0,7901	0,5168	15
Vilagarcía	0,7531	0,5326	16
Santander	0,7037	0,5780	17
Marín y Ría de Pontevedra	0,6914	0,6637	18
Alicante	0,6914	0,6424	19
Pasajes	0,6914	0,5900	20
Huelva	0,6790	0,6648	21
Cartagena	0,6420	0,6169	22
A Coruña	0,6049	0,6534	23
Vigo	0,6049	0,6407	24
Sevilla	0,5802	0,4694	25
Bahía de Cádiz	0,5432	0,5223	26
S.C. Tenerife	0,3704	0,5341	27
Las Palmas	0,3333	0,5388	28

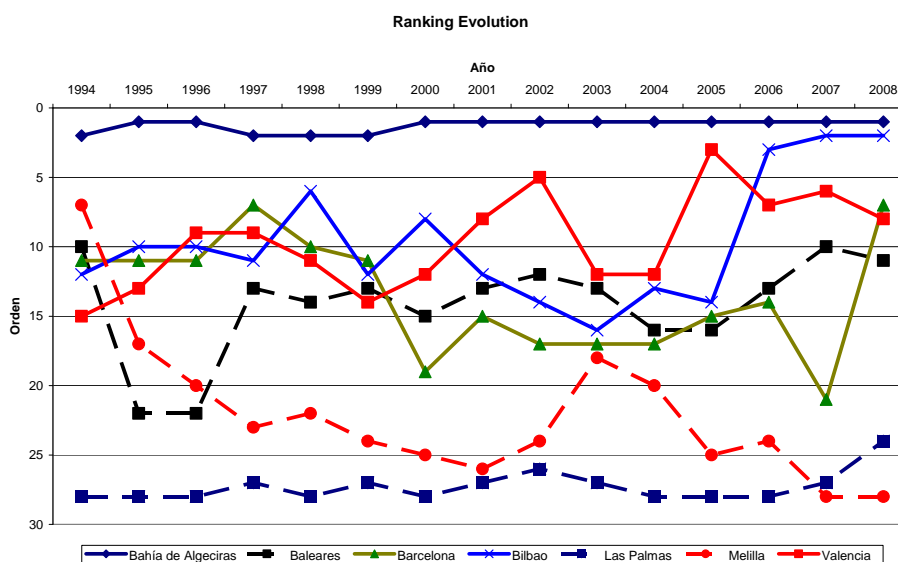
Tabla 4: Ordenación

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Mean
A Coruña	23	16	18	19	15	19	10	24	16	14	14	8	20	20	27	17
Alicante	19	26	26	28	27	21	21	18	19	24	18	24	22	22	25	22
Almería	6	6	6	6	9	5	11	14	13	4	4	9	9	15	19	9
Avilés	9	3	4	3	3	4	6	9	4	2	3	7	2	7	14	5
Bahía de Algeciras	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bahía de Cádiz	26	24	24	26	26	28	23	19	22	21	22	22	21	18	21	22
Baleares	10	22	22	13	14	13	15	13	12	13	16	16	13	10	11	14
Barcelona	11	11	11	7	10	11	19	15	17	17	17	15	14	21	7	13
Bilbao	12	10	10	11	6	12	8	12	14	16	13	14	3	2	2	9
Cartagena	22	18	16	14	12	10	13	10	11	11	6	4	6	13	10	11
Castellón	4	7	8	8	7	7	3	3	3	10	8	19	5	4	5	6
Ceuta	5	9	13	12	8	8	9	22	20	23	24	17	15	12	12	13
Ferrol-San Cibra	1	2	2	1	1	1	2	2	2	9	11	13	10	11	4	4
Gijón	14	8	7	10	13	15	7	6	9	8	7	6	11	19	18	10
Huelva	21	23	23	15	24	23	17	23	25	26	27	27	26	25	22	23
Las Palmas	28	28	28	27	28	27	28	27	26	27	28	28	28	27	24	27
Málaga	13	12	12	16	20	20	27	28	28	28	26	20	17	9	17	19
Marín y Ría de P	18	15	14	21	21	9	16	7	15	15	15	10	12	8	15	14
Melilla	7	17	20	23	22	24	25	26	24	18	20	25	24	28	28	22
Motril	3	5	5	5	5	3	5	4	6	3	2	5	8	5	9	4
Pasajes	20	14	15	18	16	16	20	11	10	5	9	12	16	17	6	13
S.C. Tenerife	27	27	27	25	25	25	24	25	23	25	25	18	18	16	16	23
Santander	17	20	21	22	18	22	22	20	21	22	19	23	27	24	26	21
Sevilla	25	25	25	24	23	26	26	21	27	20	23	21	23	23	23	23
Tarragona	8	4	3	4	4	6	4	5	7	7	5	2	4	3	3	4
Valencia	15	13	9	9	11	14	12	8	5	12	12	3	7	6	8	9
Vigo	24	19	19	20	17	17	18	17	18	19	21	26	25	26	20	20
Vilagarcía	16	21	17	17	19	18	14	16	8	6	10	11	19	14	13	14

El puerto de Valencia alcanza en esta ordenación media el valor número 9, compartido con Bilbao, mientras que el otro gran puerto del Mediterráneo (Barcelona) ocupa la posición 13 (en media).

Con el fin de facilitar la interpretación de la Tabla 4, se han seleccionado un conjunto de puertos⁴, los más representativos (Algeciras, Baleares, Barcelona, Bilbao, Las Palmas, Melilla y Valencia) para ilustrar la evolución de las posiciones del ranking y así tener una mejor perspectiva del comportamiento (Gráfico 4).

Gáfico 4



Al igual que en el caso anterior, se ha realizado un segundo análisis en donde se ha excluido el puerto de Algeciras, obteniéndose la ordenación que se recoge en la Tabla 5.

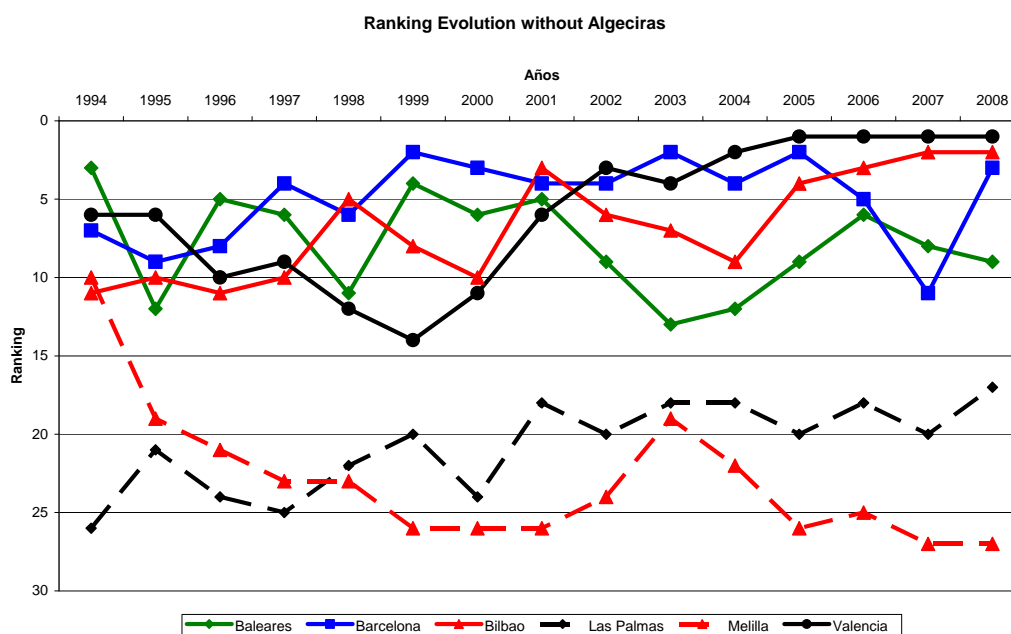
Esta tabla corresponde a la ordenación realizada sin el puerto de Bahía de Algeciras, y en ella no hay ningún puerto que alcance (en media) el número 1, por ello el primero a considerar es el de Valencia, que durante los primeros años de la serie ocupa valores medios, a partir de 2004 mantiene la primera posición. Cerca de él se sitúan los grandes puertos españoles Bilbao, Barcelona y Tarragona. No obstante, la tendencia parece mantenerse en Bilbao, mientras que Barcelona presenta mayores oscilaciones en los últimos años.

Tabla 4: Ordenación sin Bahía de Algeciras

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Mean
A Coruña	25	18	20	20	15	19	13	25	17	16	16	11	21	21	26	18
Alicante	18	27	27	27	27	21	21	19	19	24	19	24	22	22	24	21
Almería	8	7	6	7	9	6	15	15	15	5	5	12	11	16	19	12
Avilés	9	2	3	2	2	5	7	13	5	1	3	10	2	7	13	6
Bahía de Cádiz	23	22	22	26	26	27	23	20	22	22	24	18	20	18	21	20
Baleares	3	12	5	6	11	4	6	5	9	13	12	9	6	8	9	8
Barcelona	7	9	8	4	6	2	3	4	4	2	4	2	5	11	3	4
Bilbao	11	10	11	10	5	8	10	3	6	7	9	4	3	2	2	5
Cartagena	22	20	16	13	13	12	14	11	14	15	8	5	8	14	10	11
Castellón	4	3	7	8	7	9	2	2	2	14	7	19	7	4	5	6
Ceuta	5	8	13	12	8	10	12	23	21	25	25	17	15	13	11	18
Ferrol-San Cibra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	15	16	12	12	4	8
Gijón	14	11	9	11	14	16	8	9	11	10	10	7	13	19	18	11
Huelva	20	25	25	14	25	25	19	24	25	26	27	27	26	25	22	24
Las Palmas	26	21	24	25	22	20	24	18	20	18	18	20	18	20	17	19
Málaga	13	13	12	15	20	22	27	27	27	27	26	21	17	10	16	22
Marín y Ría de Pt	17	16	14	21	21	11	17	10	16	17	17	13	14	9	15	14
Melilla	10	19	21	23	23	26	26	24	19	22	26	25	27	27	24	24
Motril	2	5	4	5	4	3	5	7	7	3	1	6	9	5	8	5
Pasajes	19	15	15	17	16	15	20	14	13	6	13	15	16	17	6	13
S.C. Tenerife	21	14	18	18	10	13	9	12	12	11	11	8	10	6	14	10
Santander	16	23	23	22	18	23	22	21	23	23	21	23	27	24	25	23
Sevilla	27	26	26	24	24	24	25	22	26	21	23	22	23	23	23	23
Tarragona	12	4	2	3	3	7	4	8	8	9	6	3	4	3	3	5
Valencia	6	6	10	9	12	14	11	6	3	4	2	1	1	1	1	3
Vigo	24	17	17	19	17	17	18	16	18	20	20	25	24	26	20	20
Vilagarcía	15	24	19	16	19	18	16	17	10	8	14	14	19	15	12	13

⁴ La totalidad habría supuesto una dificultad de interpretación al superponerse muchas de las líneas representativas de los diferentes puertos

Gáfico 5



Al igual que en el caso anterior, la Gráfico 5 contiene los mismos puertos (a excepción de Algeciras) para poder observar mejor la evolución de su posición en el ranking en los años analizados.

El puerto de Valencia esta alcanzando durante los últimos años el mayor volumen de tráfico de contenedores de los puertos mediterráneos, también ha incorporado una terminales de graneles líquidos que le han permitido alcanzar unos elevados volúmenes de tráficos globales. Aunque ha recibido importante inversiones, estas están plenamente justificadas por esa adecuación a un tráfico creciente.

Los otros puertos referenciados (Bilbao, Barcelona) son puertos donde los tráficos también han crecido pero a un ritmo menor que en Valencia y algunos de ellos han recibido unas inversiones muy importantes, y ello justifica un desfase entre el incremento del tráfico y su input creciente.

Como puede observarse en la Tabla 5 y en la Gráfico 3, se percibe una cierta relación entre los grandes puertos y su posición en el ranking. No obstante, esta relación no es directa, ya que puertos con grandes infraestructuras como Gijón o Las Palmas no ocupan los primeros puestos del ranking.

Estos puertos deberían tomarse como ejemplo los puertos de Valencia, Barcelona o Bilbao como modelos y tratar de aumentar sus tráficos a fin de poder utilizar a su máxima capacidad las infraestructuras disponibles.

Un análisis similar puede hacerse para puertos como Sevilla, Huelva, etc.

Todos esos resultados son coherentes con los obtenidos por Medal (2010) y otros autores Bonilla et al. (2002, 2004), usando modelos DEA (CCR y BCC), tanto en el caso de todos los puertos como en la serie sin el puerto de Bahía de Algeciras, lo cual nos muestra que se trata de una metodología adecuada para poder obtener información del comportamiento eficiente de los distintos puertos del Sistema Portuario Español.

6. CONCLUSIONES

El trabajo presenta el interés de realizar una primera ordenación de los puertos del Sistema Portuario Español en base a la eficiencia de cada uno de los puertos, pero utilizando la metodología FDH en la cual no se generan unidades proyectadas sobre la frontera que definen de los puertos de forma que pueden desvirtuar el análisis para los gestores de los puertos que consideran más idónea la comparación directa con otros puertos de características similares.

La ordenación jerárquica de los puertos tiene un interés especial para las autoridades de coordinación ya que frente a unos resultados en donde casi todas las unidades pueden considerarse eficientes permite discriminar entre ellas de forma que es posible priorizar aquellas que presentan mejores valores globales.

También los gestores de los puertos necesitan una unidad de comparación, y considerar que alcanzan un score unitario solamente significa que realizan su labor de forma adecuada pero no de la “mejor” forma posible, y es por ello, y con el objetivo de mejorar su gestión es por lo que necesitan conocer en que posición del ranking se encuentran para determinar los puntos fuertes a reforzar y los débiles a mejorar.

La metodología aplicada basada en el método de las tolerancias resulta especialmente útil, ya que los valores anuales de los datos pueden presentar algunos errores o inexactitudes que se corrigen con estas posibles variaciones.

Un aspecto también relevante es el esfuerzo computacional que ello supone, así la aplicación de los criterios de ordenación suponen el tener que resolver para cada año (considerando 28 puertos) 2268 problemas de programación lineal entera. Para ello se ha utilizado el código escrito en GAMS con loops para cada uno de los años. Este programa se ha resuelto con CPLEX (con la opción de criterio de tolerancia de la solución óptima de cero), obteniendo siempre solución óptima. Cada una de las iteraciones de los 2268 problemas se ha resuelto en unos 400 segundos, es decir, unos 0,17 segundos por problema binario. Por ello, la posible complejidad computacional para este tipo de problemas (de tamaño pequeño-medio) no es importante.

Por todo ello, consideramos que esta metodología y aplicación realizada puede ser de utilidad para personas no expertas en el análisis de eficiencia, pero que tienen la responsabilidad de gestionar importantes infraestructuras como son los puertos, tanto de forma global (o coordinada) como desde la esfera de un único puerto pueden encontrar en este análisis una referencia.

Como se ha señalado en el epígrafe anterior, estos resultados obtenidos en el análisis del modelo FDH están en consonancia con los obtenidos usando modelos DEA (CCR y BCC), tanto en el caso de todos los puertos como en la serie sin el puerto de Bahía de Algeciras, lo cual nos muestra que se trata de una metodología adecuada para poder obtener información del comportamiento eficiente de los distintos puertos del Sistema Portuario Español.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONILLA, M., CASASUS, T., MEDAL, A. and SALA, R. (2002): “The traffic in the Spanish ports: An efficient analysis”. *International Journal of Transport Economics*. Vol. XXIX. N 2, 215-230
- BONILLA, M., CASASUS, T., MEDAL, A. and SALA, R. (2004): “An efficiency analysis with tolerances of the Spanish ports system”. *International Journal of Transport Economics*. Vol. XXXI. N 3, 379-400
- BOSCA, J.E., MARTÍNEZ, A., LIERN, V. and SALA, R. (2009): “Increasing offensive or defensive efficiency? An analysis of Italian and Spanish football”, *Omega* 37 63–78.
- BOSCA, J.E., MARTÍNEZ, A., LIERN, V. and SALA, R. (2010):” Ranking decision making units by means of soft computing DEA models”. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*. (To appear)
- CHARNES, A., COOPER, W.W. and RHODES, E. (1978): “Measuring the inefficiency of decision making units”. *European Journal of Operational Research*. N. 2, 429-444.
- CHERCHYE, L., T. KUOSMANEN and T. POST (2000), “What Is the Economic Meaning of FDH? A Reply to Thrall”, *Journal of Productivity Analysis*, 13: 263-267.
- CHERCHYE, L., T. KUOSMANEN and T. POST (2001), “FDH Directional Distance Functions with an Application to European Commercial Banks”, *Journal of Productivity Analysis*, 15: 210-215.
- COOPER, W.W., SEIFORD, L.M. and TONE, K. (2006): *Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses*. Springer. USA.
- DEPRINS, D., SIMAR, L. and TULKENS, H. (1984), *Measuring Labour-Efficiency in Post Offices*, in Marchand, M. Pestieau, P. and Tulkens, H. (eds), **The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurement**, North-Holland Publishing company, Amsterdam

- GIMENEZ GARCIA, V, M (2004): Un modelo FDH para la medida de la eficiencia en costes de los departamentos universitarios. *Hacienda Pública Española*, n. 168 69-92. *(In Spanish)*
- LOVELL, C. and VANDEN EECKAUT, P. (1993), *Frontier Tales: DEA and FDH*, in **Mathematical Modeling in Economics : Essays in Honor of Wolfgang Eichhorn**, Springer-Verlag, Berlin, New York, pp. 446-457
- NERLOVE, M. (1965), Estimation and Identification of Cobb-Douglas Production Functions, Chicago Rand McNally.
- MEDAL, A. (2010): “Análisis de la eficiencia del sistema portuario español: estructura, evolución y perspectivas”. *Ph. D. Thesis (In Spanish)*
- TULKENS, H. (1993), On FDH Efficiency Analysis: Some Methodological Issues and Applications to Retail Banking, Courts and Urban Transit, *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 4, pp. 183-210.
- VANDEN EECKAUT, P., TULKENS H. and JAMAR M.A.(1993), *Cost Efficiency in Belgian Municipalities*, in Fried, H.O., Lovell, C.A.K., and Schmidt, S.S.(eds.), **The Measurement of Productive Efficiency**, New York: Oxford University Press.
- WANG, T-F., SONG, D-W y K. CULLINANE (2006): “Container Port Production Efficiency: A Comparative Study of DEA and FDH Approaches”. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol 5. 698 - 713