

Análisis de la eficiencia de los puertos del Sistema Portuario Español según las tipologías de tráfico

Medal-Bartual, Amparo (medal@uv.es)
Departamento de Finanzas Empresariales
Universitat de València

Molinos-Senante, María (Maria.Molinos@uv.es)
Departamento de Departamento de Economía Aplicada II
Universitat de València

Sala-Garrido, Ramón (sala@uv.es)
Departamento de matemáticas para la Economía y la Empresa
Universitat de València

RESUMEN

La ley 33/2010, de 5 de agosto, señala explícitamente “la exigencia de adoptar en España medidas que mejoren la gestión de nuestros puertos y su eficiencia, impulsando su competitividad en una coyuntura de fuerte competencia internacional”.

Para el análisis de la eficiencia de los puertos Españoles proponemos la aplicación de un modelo DEA no radial: la medida de Russell. Esta metodología permite analizar la eficiencia global de cada puerto y proporciona, a su vez, un índice de eficiencia o score para cada una de los inputs seleccionados, que en nuestro análisis son los tráficos portuarios clasificados en graneles sólidos, líquidos, mercancía general y contenedores.

Los resultados obtenidos nos permitirán identificar los puntos fuertes y débiles de cada puerto, sobre los que será necesario llevar a cabo actuaciones con el objeto de incrementar su eficiencia y sostenibilidad.

ABSTRACT

The principles of efficiency and sustainability must be considered in the management of any infrastructure. Ports have not escaped to this general trend. Therefore, the Spanish Law 33/2010 emphasizes the necessity of taking measures to improve the efficiency of Spanish ports, increasing their competitiveness in a strong competition international context.

This paper analyses the efficiency of the Spanish ports using a non-radial DEA model, the Russell Measure, which allows obtaining an efficiency score for each of the inputs analyzed, that is, the different types of traffic: solid and liquid bulks, general commodities and containers. Hence, the strengths and weakness of each port can be identified showing the type of traffic on which is necessary act in order to increase the efficiency and sustainability of ports.

Palabras claves:

DEA no radial; medida de Russell; puertos Españoles; eficiencia portuaria

Área temática: optimización.

1. INTRODUCCIÓN

Más de un 80% de nuestras importaciones y el 50% de las exportaciones (2009), medidas en Tn, pasan por los puertos de interés general en España. Según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre comercio y desarrollo (UNCTAD)¹, en el 2010, 8,4 billones de toneladas fueron transportadas vía marítima, lo que supone un incremento del 28% respecto al año anterior.

A nivel nacional, más de 25 millones de pasajeros emplearon el transporte marítimo en sus desplazamientos en 2011. Además, respecto al comercio exterior, el 59% de las exportaciones y el 82% de las importaciones en España, se efectuaron a través de los puertos Españoles. Estas cifras ratifican la importancia a nivel económico del transporte marítimo y plantean la necesidad de disponer en España de puertos eficientes, capaces de afrontar la fuerte y creciente competencia existente a nivel internacional.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad económica, la importancia de disponer de puertos eficientes es crucial. Por un lado, una mejora en la eficiencia, traducida en una reducción de los costes del transporte, implicaría un incremento tanto en las exportaciones como en las importaciones de nuestro país (Sánchez *et al.*, 2003). Por otro lado, una mejora de la eficiencia portuaria implica beneficios medioambientales, ya que el transporte de mercancías en barco es el medio que menor nivel de contaminación conlleva (Bonilla *et al.*, 2004). Teniendo en cuenta el contexto de la actual crisis económica, la gestión eficiente y eficaz de los recursos de cualquier entidad, incluyendo los puertos, se hace indispensable.

Esta necesidad quedó plasmada en la Ley 33/2010, de 5 de agosto, de modificación de la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de régimen económico y de prestación de servicios en los puertos de interés general, que señala explícitamente, en su Preámbulo I, que: “la competitividad de nuestro sistema productivo viene condicionada por la eficacia y eficiencia de los puertos” y asimismo añade “la exigencia de adoptar en España medidas que mejoren la gestión de nuestros puertos y su

¹ United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD, 2011).

eficiencia, impulsando su competitividad en una coyuntura de fuerte competencia internacional”.

Respecto al concepto de eficiencia portuaria, ha pasado de estar vinculado a factores como la velocidad en las operaciones o la oferta de servicios portuarios, a ser entendido en un contexto de gestión óptima de los recursos portuarios. Es en este último concepto en el que la aplicación de métodos de frontera estocástica o la metodología DEA², destinados al estudio de la eficiencia portuaria, cobra pleno sentido, pudiendo encontrar una extensa literatura al respecto (Barros *et al.* 2004; Sohn and Jung, 2009; Wanke *et al.*, 2011; Jiang *et al.*, 2011; Mu *et al.*, 2011; entre otros).

En el contexto nacional, numerosos autores han analizado la eficiencia del Sistema Portuario Español empleando la metodología DEA (Martínez-Budria *et al.*, 1999; Coto-Millán *et al.*, 2000; Bonilla *et al.*, 2002; Bonilla *et al.*, 2004; González *et al.*, 2009; Medal and Sala, 2011a). No obstante, todas estas investigaciones tienen en común el uso de modelos DEA radiales, que asumen una variación proporcional en todos los outputs e inputs considerados en el análisis. En consecuencia, este tipo de modelos tan sólo proporciona una medida de la eficiencia (score) global, sin considerar la eficiencia específica de cada una de las variables seleccionadas en el estudio.

Con el objeto de superar esta limitación, en este artículo analizamos la eficiencia de los puertos que integran el actual Sistema Portuario Español empleando un modelo DEA no radial. Esta metodología nos va a permitir, en primer lugar, determinar los puertos más eficientes lo que ofrecerá a los gestores una referencia en la gestión portuaria y un punto de partida para la adecuada planificación estratégica de sus actuaciones. En segundo lugar, a partir de dicha metodología vamos a obtener un score de eficiencia para cada variable, identificando así los puntos fuertes y débiles de cada puerto, esto es, los inputs específicos a mejorar en cada puerto con el fin de aumentar su nivel de eficiencia (Hernández-Sancho *et al.*, 2011).

Para la consecución de estos fines, el artículo se ha estructurado de la siguiente manera: tras la introducción del análisis, en el epígrafe 2 se describe la metodología empleada en el análisis: la Medida de Russell (RM). En el epígrafe 3 analizamos las

² El término DEA corresponde a las siglas “Data Envelopment Analysis”.

principales características de las variables seleccionadas, esto es, los inputs y outputs empleados para caracterizar la eficiencia del Sistema Portuario Español. En el epígrafe 4 presentamos los resultados más relevantes del análisis efectuado y, finalmente, el epígrafe 5 sintetiza las principales conclusiones del estudio.

2. METODOLOGÍA

El trabajo de Farrell (1957) es el punto de partida para una serie de análisis de la eficiencia basados en el concepto de frontera de producción, en los que se considera que una serie de individuos o unidades (DMUs) son eficientes en la medida en que alcanzan el resultado óptimo a partir de sus factores productivos, empleando una determinada tecnología. Sólo las DMUs más eficientes, es decir, aquellas unidades que obtienen el máximo output a partir de una serie de inputs, o bien, emplean los mínimos inputs para obtener un nivel determinado de output, configuran la frontera eficiente. Por el contrario, una DMU será considerada como ineficiente si opera por debajo de dicha frontera (Cooper *et al.*, 2007). A partir del concepto de frontera eficiente, han sido desarrollados numerosos modelos para medir la eficiencia de un conjunto de DMUs, siendo el Análisis Envolvente de Datos o DEA, una de las metodologías más extendidas en la literatura (Gattoufi *et al.*, 2004 ofrece una excelente revisión de los principales trabajos en este área).

La metodología DEA, desarrollada inicialmente por Charnes *et al.* (1978), es un modelo no paramétrico que permite estimar fronteras de producción y medir la distancia relativa de cada DMU a la frontera, lo que representa su nivel de ineficiencia (Coelli *et al.*, 1998). Desde el punto de vista matemático, la metodología DEA se traduce en un problema de programación lineal que requiere simplemente de las observaciones de los inputs y outputs seleccionados y de un número mínimo de hipótesis básicas necesarias para su resolución (Lozano *et al.*, 2009).

Dentro de la metodología DEA, es posible distinguir dos tipos de medidas de la eficiencia: radial y no radial. La medida radial de la eficiencia está basada en el modelo CCR de Charnes *et al.* (1978) y determina la eficiencia global de cada DMU

seleccionada, sin diferenciar qué nivel de ineficiencia se debe a cada input u output analizado (Sueyoshi and Goto, 2011). Para evitar este inconveniente, Färe and Lovell (1978) introdujeron la medida no radial conocida como “medida de Russell” (RM). A diferencia de los modelos radiales, esta metodología permite identificar los inputs específicos sobre los que se debe actuar para mejorar la eficiencia de la DMU analizada. Desde su origen, se han desarrollado diferentes aplicaciones de la medida de Russell para adaptar esta metodología a diferentes entornos económicos (Lozano *et al.*, 2011; Abbaspour *et al.*, 2010).

Partiendo de previas investigaciones sobre el estudio de la eficiencia del Sistema Portuario español (Bonilla *et al.*, 2002; Bonilla *et al.*, 2004; Medal y Sala, 2011a, b) hemos estimado la eficiencia de los puertos asumiendo rendimientos variables a escala.

En concreto, el índice de eficiencia global o Medida de Russell (RM), para cada DMU o unidad k ($K = 1, 2, \dots, k, \dots, K$), se calcula a partir de la ecuación (1) en la se minimiza la media de los índices de eficiencia para cada input:

$$RM(y, x) = \min \left\{ \sum_{n=1}^N \theta_n / N : (\theta_1 x_1, \theta_2 x_2, \dots, \theta_N x_N) \in L(y), 0 \leq \theta_n \leq 1 \right\} \quad (1)$$

Donde $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_N^k)$ es el conjunto de inputs de que dispone cada una de las k DMUs para producir el vector de outputs $y^k = (y_1^k, y_2^k, \dots, y_M^k)$, con un vector de intensidad λ para las variables. De acuerdo a la ecuación (1) cada uno de los inputs se minimiza en una determinada proporción, mientras que en las medidas radiales todos los inputs serían minimizados con la misma magnitud.

Para calcular el nivel de eficiencia de cada DMU k' , resolvemos el siguiente problema de programación lineal (ecuación 2):

$$\begin{aligned}
 \text{RM}(y^k, x^k) &= \frac{1}{N} \min \sum_{n=1}^N \theta_n \\
 \text{s.t.} \\
 \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{km} &\geq y_{km}, \quad m = 1, \dots, M \\
 \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{kn} &\leq \theta_n x_{kn}, \quad n = 1, \dots, N \\
 \sum_{k=1}^K \lambda_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K \\
 0 \leq \theta_n &\leq 1, \quad n = 1, \dots, N
 \end{aligned} \tag{2}$$

Siendo RM la medida de Russell y las variables θ_n indicadores del nivel de eficiencia de cada uno de los inputs considerados. Tanto RM como los scores de eficiencia de cada input θ_n toman valores comprendidos entre 0 y 1, de tal manera que un puerto será completamente eficiente si, y sólo si, $RM = 1$ y todos los θ_n son igual a 1. Por el contrario, un puerto será considerado como ineficiente si $0 \leq RM < 1$.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Actualmente, en España existen 53 puertos de interés general, gestionados por 28 Autoridades Portuarias (AAPP): A Coruña, Alicante, Almería, Avilés, Baleares, Barcelona, Bilbao, Cartagena, Castellón, Ceuta, Ferrol-San Cibrao, Gijón, Huelva, Algeciras, Bahía de Cádiz, Las Palmas, Málaga, Marín y Ría de Pontevedra, Melilla, Motril, Pasajes, Santa Cruz de Tenerife, Santander, Sevilla, Tarragona, Valencia, Vigo y Vilagarcía de Arousa. La coordinación y control de las mismas corresponde al Organismo Público Puertos del Estado (OPPE).

Estas 28 AAPP van a ser las unidades o DMUs analizadas, teniendo en cuenta los inputs de que disponen y los outputs que generan. En concreto, teniendo en cuenta que la finalidad de este trabajo es identificar el input en el que cada puerto es más eficiente, hemos estimado que los inputs más representativos de cada puerto son los diferentes tipos de tráfico portuarios que presentan. En concreto, los inputs del análisis, es decir, los tráficos portuarios han sido agrupados en cuatro categorías: graneles sólidos (GS), graneles líquidos (GL), mercancía general no contenerizada (MG) y

mercancía general en contenedores (C). Los primeros tres tipos de tráficos están medidos en miles de toneladas, mientras que los contenedores en miles de TEUs.

Como outputs más representativo de los resultados obtenidos a partir de la actividad portuaria hemos considerado el rendimiento³ de cada AAPP (medido en miles de euros). En definitiva, estamos considerando que la actividad portuaria es un proceso productivo en el que el rendimiento de cada AAPP depende directamente de los tráficos que soporte.

A este respecto, señalamos que aunque podríamos considerar un número mayor de variables como representativas de la actividad portuaria, la conocida como “regla de Cooper”⁴ avala la selección de un número pequeño de variables como inputs/outputs en el análisis.

A modo de resumen, la *Tabla 1* muestra los principales estadísticos que sintetizan las características de la muestra analizada, para el período 2009.

Tabla 1: Descripción de la muestra

	INPUTS				OUTPUT
	GL (miles Tn)	GS (miles Tn)	MG (miles Tn)	C (miles TEU)	Rendimiento (miles €)
Media	5123,7	2825,9	1734,0	419,5	34768,8
Desviación típica	6786,7	3025,3	2205,6	912,8	34944,3
Coefficiente de Correlación	0,552	0,305	0,859	0,767	

Fuente: Elaboración propia a partir del Anuario Estadístico de *Puertos del Estado* (2009)

³ Rendimiento medido por el Beneficio antes de Intereses e Impuestos.

⁴ La Regla de Cooper (Charnes y Cooper, 1990) establece que el número de unidades del análisis debe ser (aproximadamente) entre 1,5 y dos veces el número de variables ya que, en otro caso, proporcionaría muchas unidades “eficientes”.

4. PRINCIPALES RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Los resultados del análisis han sido obtenidos tras la resolución del modelo (2) para cada una de los 28 puertos analizados, y para cada uno de los inputs considerados, empleando como software el GAMS-CPLEX. Los resultados se muestran en la *Tabla 2*.

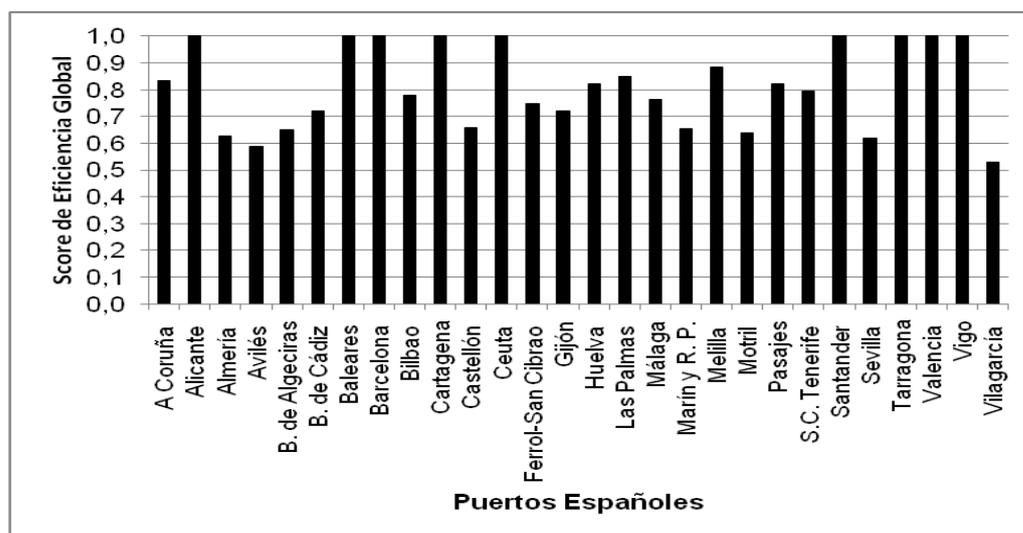
Tabla 2: Scores de Eficiencia de los Puertos Españoles.

Puertos Españoles (AAPP)	Scores de eficiencia				
	Global	GL	GS	MG	C
A Coruña	0,833	0,629	0,952	0,749	1,000
Alicante	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Almería	0,626	0,657	0,453	0,661	0,734
Avilés	0,588	0,697	0,909	0,413	0,333
Bahía de Algeciras	0,649	0,315	0,885	1,000	0,395
Bahía de Cádiz	0,721	0,320	0,785	0,782	1,000
Baleares	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Barcelona	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Bilbao	0,781	0,433	0,779	0,912	1,000
Cartagena	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Castellón	0,657	0,478	0,884	0,711	0,554
Ceuta	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Ferrol-San Cibrao	0,748	0,240	0,873	1,000	0,879
Gijón	0,720	0,678	0,348	0,967	0,885
Huelva	0,823	1,000	0,632	0,659	1,000
Las Palmas	0,851	0,619	0,907	0,877	1,000
Málaga	0,765	0,975	0,348	0,764	0,973
Marín y Ría de Pontevedra	0,652	0,636	0,776	0,385	0,811
Melilla	0,886	0,982	0,768	0,794	1,000
Motril	0,639	0,677	0,595	0,925	0,359
Pasajes	0,823	0,941	0,548	0,857	0,945
S.C. Tenerife	0,795	0,916	0,774	0,568	0,921
Santander	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Sevilla	0,618	0,215	0,284	0,972	1,000
Tarragona	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Valencia	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Vigo	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Vilagarcía	0,530	0,348	0,769	0,873	0,128
Media	0,811	0,741	0,795	0,852	0,854
Desviación típica	0,156	0,280	0,224	0,181	0,252
Nº de puertos eficientes	9	10	9	11	16

A nivel general, los resultados de la *Tabla 2* indican que el nivel de eficiencia medio global es bastante elevado (0,811). Considerando que el score de eficiencia máximo es la unidad, podemos afirmar que, en general, los puertos pertenecientes al sistema Portuario Español tienen un nivel de eficiencia considerable, pero este nivel de eficiencia podría crecer en torno al 20% para considerar que todos los puertos operan sobre la frontera eficiente.

En el *Gráfico 1* se representan los scores de eficiencia global para cada uno de los puertos. Estos resultados reflejan que el 32 % de los puertos analizados son completamente eficientes, es decir, 9 de los 28 puertos de la muestra obtuvieron un score de eficiencia global unitario. En concreto los puertos de Alicante, Baleares, Barcelona, Cartagena, Ceuta, Santander, Tarragona, Valencia y Vigo son los más eficientes del Sistema Portuario Español y no podrían mejorar su rendimiento manteniendo constantes sus niveles de tráfico.

Gráfico 1: Índice de Eficiencia Global por puerto



La *Tabla 2* proporciona, a su vez, información referente a los *scores* de eficiencia de cada uno de los inputs seleccionados. Los resultados muestran que, aunque un puerto puede ser considerado como ineficiente en términos generales, puede ser eficiente en el uso de algunos de sus inputs. En concreto, el 57 % de los puertos que no tuvieron un score unitario en global (7 puertos de 19) fueron eficientes en el tráfico de mercancía contenerizada; los puertos de Bahía de Algeciras y Ferrol-San Cibrao fueron

eficientes en el tráfico de mercancía general. Pero ningún puerto resultó ser eficiente en el tráfico de graneles.

Este análisis permite a su vez identificar las variables que permitirían a cada puerto mejorar su eficiencia y, en definitiva, obtener mayor rentabilidad. Así, por ejemplo, los puertos de Bahía de Cádiz, Bilbao, Ferrol-San Cibrao y Sevilla obtuvieron buenos niveles de eficiencia en todos los tráficos excepto en los graneles líquidos, lo que indica que tienen un punto débil en este tipo de tráfico. Para el puerto de Vilagarcía su punto débil es el tráfico de contenedores, mientras que el puerto de Avilés, especializado en el tráfico de graneles sólidos, presenta gran eficacia en este input pero en muy ineficiente en el resto.

Tomando como referencia el conjunto de puertos del Sistema Portuario Español, y centrándonos en el nivel de eficacia de cada input, podemos observar que el valor medio de los scores en el tráfico de contenedores (0,854) es el mayor entre los inputs analizados y, además, es el que presenta mayor número de puertos completamente eficientes, 16 en total (ver *Tabla 2*).

En consecuencia, podemos afirmar que España dispone de terminales de contenedores que operan eficientemente, sin referirnos exclusivamente a aquellos puertos especializados en el tráfico de mercancía contenerizada: Bahía de Algeciras, Barcelona, Valencia y Las Palmas. Otros puertos, como A Coruña, Alicante o Bahía de Cádiz, entre otros, fueron completamente eficientes en este input (ver *Tabla 2*).

Para finalizar, queremos aclarar que aunque algunos puertos muestren ineficiencias en determinados tráficos no significa que dichos puertos no alcancen sus objetivos previstos. Los scores de eficiencia nos indican el nivel de competitividad de cada puerto en el logro de sus objetivos, en comparación con el resto de puertos, en cada momento del tiempo (Morais y Camnho, 2011).

5. CONCLUSIONES

El uso eficiente de los recursos es una necesidad para cualquier empresa u organismo en general, que no excluye al Sistema Portuario Español.

Tradicionalmente, uno de los métodos más extendidos en el estudio de la eficiencia de un conjunto de unidades o DMUs ha sido el análisis DEA. Sin embargo, se trata de modelos radiales que sólo proporcionan información sobre la eficiencia global de dichas unidades, sin tener en cuenta el nivel de eficiencia asociado a cada input seleccionado en el análisis.

Con el objeto de superar este inconveniente, este artículo presenta el análisis de la eficiencia de los puertos que integran el Sistema Portuario Español bajo un nuevo enfoque basado en un modelo DEA no radial: la medida de Russell. Esta metodología proporciona un nivel de eficiencia o score para cada uno de los inputs seleccionados, lo que permite identificar el input específico sobre el que debe actuar el puerto para mejorar su nivel de eficiencia.

Para la realización del análisis, se han considerado como inputs más representativos de la actividad portuaria las distintas categorías de tráficos (graneles sólidos y líquidos, mercancía general y tráfico de contenedores), y el rendimiento de cada puerto como output a obtener. En consecuencia, los puertos más eficientes serán aquellos que obtengan mayor rendimiento a partir de un volumen de tráficos determinado.

Como resultados del análisis, concluimos que el Sistema Portuario Español presenta en términos generales un elevado nivel medio de eficiencia. En concreto, los puertos de Alicante, Baleares, Barcelona, Cartagena, Ceuta, Santander, Tarragona, Valencia y Vigo son los más eficientes del sistema, lo que implica no podrían incrementar su rendimiento manteniendo constante sus niveles de tráficos.

A partir del análisis de los scores o niveles de eficiencia de cada uno de los inputs considerados, observamos cómo algunos puertos que habían sido catalogados en general como ineficientes, pueden serlo en determinados inputs. Por ejemplo, los puertos de Bahía de Algeciras y Ferrol-San Cibrao son eficientes en el tráfico de mercancía general, y un elevado grupo de puertos lo son en el tráfico de contenedores (ver *Tabla 2*). Es precisamente en este último input en el que mayor número de puertos eficientes encontramos, con los scores más elevados en promedio, lo que nos permite afirmar que España dispone de terminales de contenedores que operan eficientemente, y no sólo en los puertos especializados en el tráfico de mercancía contenerizada (Bahía de

Algeciras, Barcelona, Valencia y Las Palmas) sino también en otros puertos, como A Coruña, Alicante o Bahía de Cádiz.

En definitiva, este análisis destaca los puntos fuertes de cada puerto, y a su vez, permite identificar las variables que permitirían a cada puerto mejorar su eficiencia y, en definitiva, obtener mayor rentabilidad. Por ejemplo, los puertos de Bahía de Cádiz, Bilbao, Ferrol-San Cibrao y Sevilla obtuvieron un nivel de eficiencia considerable en todos los inputs a excepción del tráfico de graneles líquidos, lo que representa un punto débil en dichos puertos. Para el puerto de Vilagarcía, su punto débil es el tráfico de contenedores, mientras que el puerto de Avilés presenta gran eficacia en el tráfico de graneles sólidos pero es muy ineficiente en el resto.

En resumen, la metodología que proponemos para el análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español permite evaluar la eficiencia global de cada puerto identificando, además, los niveles de eficiencia asociados a cada input considerado. En consecuencia, es posible detectar los puntos fuertes y débiles de cada puerto, sobre los que se debe actuar con el fin de mejorar su rentabilidad. No debemos olvidar que los resultados hacen referencia a la eficiencia relativa de los puertos en un momento concreto del tiempo, por lo que sugerimos cautela en la toma de decisiones.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASPOUR, M., HOSSEINZADEH LOFTI, F., KASBASSI, A.R.- ROAYAEI, E. y NIKOMERAM, H. (2010). “Development of a model to assess environmental performance, concerning HSE-MS principles”. *Environmental Monitoring and assessment*. 165(1-4), pp.517-528.
- BARROS, C. y ATHANASSIOU, M. (2004). “Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal”. *Maritime Economics and Logistics*, 6, pp. 122–140.
- BONILLA, M., CASASUS, T., MEDAL, A. y SALA, R. (2002). “The traffic in the Spanish ports: An efficient analysis”. *International Journal of Transport Economics*, XXIX, N 2, 215-230.

- BONILLA, M., CASASUS, T., MEDAL, A. y SALA, R. (2004). “An efficiency analysis with tolerances of the Spanish Ports System”. *International Journal of Transport Economics*. XXXI, N 3, pp. 379-400.
- CHARNES, A. y COOPER, W.W. (1990). *Data Envelopment Analysis*. En H.E. Bradley (Eds). Operational Research’90. Pergamon Press. Oxford.
- CHARNES, A., COOPER, W.W., y RHODES, E., (1978). “Measuring the efficiency of decision making units”. *European Journal of Operational Research*. **2**, pp. 429 – 444.
- COELLI, T., RAO, D.S. y BATTESE, G.E. (1998). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- COOPER WW, SEIFORD LM y TONE K. (2007). *Data Envelopment Analysis*. New York; Springer.
- COTO-MILLÁN, P., BAÑOS-PINO, J. y RODRIGUEZ-ÁLVAREZ A. (2000). “Economic Efficiency in Spanish Ports: Some Empirical Evidence”. *Maritime Policy and Management*, 27(2), pp. 169-174.
- FÄRE, R. y LOVELL, C.A.K. (1978): “Measuring the technical efficiency of production”. *Journal of Economic Theory*, 19 (1), pp. 50–162
- FARRELL M. J. (1957). “The Measurement of Productive Efficiency”. *Journal of the Royal Statistical Society A*. 120, pp. 253 – 281.
- GATTOUFI, S., ORAL, M. y REISMAN, A. (2004). “Data envelopment analysis literature: a bibliography update (1951–2001)”. *Socio-Economic Planning Sciences*. 38, pp. 159 – 229.
- GONZÁLEZ, M.M. y TRUJILLO, L. (2009). “Efficiency measurement in the Port industry: a survey of the empirical evidence”. *Journal of Transport Economics and Policy*. 43 (2), pp. 157–192.

- HERNÁNDEZ-SANCHO, F., MOLINOS-SENANTE, M. y SALA-GARRIDO, R. (2011). “Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach”. *Science of the Total Environment*, 409, pp. 2693-2699.
- HSIAO, B., CHEN, C.C. y CHIN, C.R. (2011): “Performance evaluation with the entropy-based weighted Russell measure in data envelopment analysis”. *Expert System with Applications*, 38(8), pp. 9965-9972.
- JIANG, J.L., CHEW, E.P., LEE, L.H. y SUN, Z. (2011). DEA based on strongly efficient and inefficient frontiers and its application on port efficiency measurement. *OR Spectrum*, In press.
- LOZANO, S., ADENSO-DÍAZ, B. y BARBA-GUTIERREZ, I. (2011): “Russell non radial eco-efficiency measure and scale elasticity of a simple of electric/electronic products”. *Journal of the Franklin Institut.* 348(7), pp. 1605-1614.
- LOZANO, S., VILLA, G. y BRÄNNLUND, R. (2009). “Centralised reallocation of emission permits using DEA”. *European Journal of Operational Research*, 193 (3), pp. 752-760.
- MARTÍNEZ-BUDRIA, E., DIAZ-ARMAS, R., NAVARRO-IBAÑEZ, M. y RAVELO-MESA, T. (1999). “A study of the efficiency of Spanish Port Authorities using Data Envelopment Analysis”. *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), pp. 237-253.
- MEDAL, A., y SALA, R. (2011a). “An efficiency ranking of Spanish seaports using FDH methodology”. *International Journal of Transport Economics*. XXXVIII. N 2, pp. 199-224.
- MEDAL, A., y SALA, R. (2011b). Análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español: estructura, evolución y perspectivas. Edita: Fundación VALENCIAPORT. Serie: Planificación y Gestión Portuaria. España.

- MORAIS, P. y CAMNHO, A.S. (2011). “Evaluation of performance of European cities with the aim to promote quality of life improvements”, *Omega*, 39(4), pp. 398-409.
- MU, M.H., LIN, G. y YANG, B. (2011). “Classification of the Yangon’s ports in Myanmar with efficiency measurement by using DEA”. *Advanced Materials Research*, 193, pp. 204-210.
- PUERTOS DEL ESTADO (2012). Disponible en www.puertos.es. Ultimo acceso enero 2012.
- SÁNCHEZ, R.J., HOFMANN, J., MICCO, A., PIZZOLITOO, G.V., GUT, M.S. y WILMSMEIER, G. (2003). “Port efficiency and international trade: port efficiency as a determinant of maritime transport cost”. *Maritime Economics and Logistics*, 5, pp. 199-218.
- SOHN, J.R. y JUNG, C.M. (2009). “The size of a port on the container handling efficiency level and market share in international transshipment flow”. *Maritime Policy and Management*, 36 (2), pp. 117-129.
- LEY 33/2010, de 5 de agosto, de modificación de la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de régimen económico y de prestación de servicios en los puertos de interés general.
- SUEYOSHI, T. y GOTO, M. (2011). “DEA approach for unified efficiency measurement: Assessment of Japanese fossil fuel power generation”. *Energy Economics*, 33 (2), pp. 292 – 303.
- UNCTAD (2011) Review of Maritime Transport, United Nations Conference on Trade and Development. Geneva, Switzerland.
- WANKE, P.F., BARBASTEFANO, R.G. y HIJAR, M.F. (2011). “Determinants of efficiency at major Brazilian port terminals”. *Transport Reviews*, 32 (5), pp. 653-677.