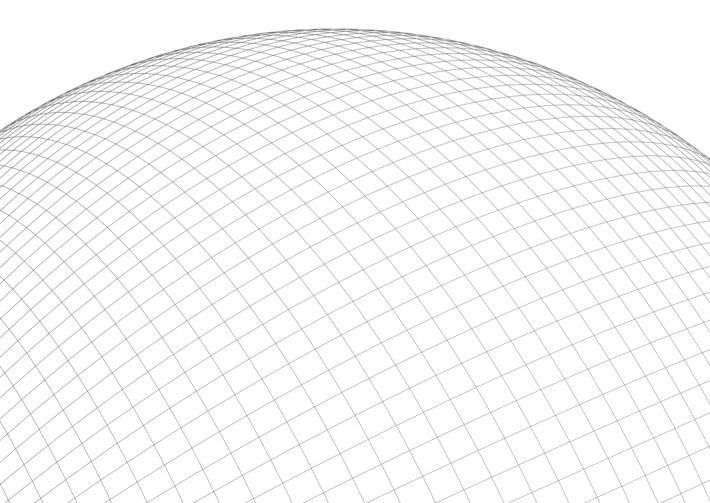
## Análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español: estructura, evolución y perspectivas



Mª Amparo Medal Bartual Ramón Sala Garrido



# Análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español: estructura, evolución y perspectivas



Autores: Ma Amparo Medal Bartual

Ramón Sala Garrido

Colección: Biblioteca Técnica de la Fundación VALENCIAPORT

Serie: Planificación y Gestión Portuaria

Edita: © Fundación VALENCIAPORT

Sede APV - Fase III

Avda. del Muelle del Turia, s/n - 46024 Valencia

www.fundacion.valenciaport.com ISBN-13: 978-84-938155-2-3

Depósito Legal:

Maquetación: Caligrama

Imprime: Textos & Imágenes

www.textosimagenes.com





# Índice

Presen	tación	П
Capítul	o I. El Sistema Portuario Español: estructura	19
1.1.	Descripción y evolución histórica del Sistema Portuario	
	Español	20
1.2.	Análisis de la estructura del Sistema Portuario Español	27
	I.2.I. Diseño del análisis cluster	30
	1.2.2. Resultados del análisis cluster	33
1.3.	Caracterización de los grupos de puertos que conforman	
	el Sistema Portuario Español	34
Capítul	o 2. Análisis de la eficiencia técnica del Sistema	
	Portuario Español	41
2.1.	Marco teórico del análisis de la eficiencia: modelos DEA	43
	2.1.1. Modelos DEA con rendimientos constantes a escala (CRS):	
	modelo CCR	47
	2.1.2. Modelos DEA con rendimientos variables a escala (VRS):	
	modelo BCC	51
	2.1.3. Modelos DEA con restricciones en los pesos	55
	2.1.4. Modelo FDH	58
	2.1.5. Análisis de influencia en DEA	62
	2.1.6. Evolución temporal de la eficiencia: Índice de Malmquist y	
	Windows Analysis	63
2.2.	Estudio global de la eficiencia técnica del Sistema Portuario	
	Español	69
	2.2.1. Diseño del análisis	75
	2.2.2. Resultados con los modelos CCR y BCC	79
	2.2.3. Determinación de DMUs influyentes	85
	2.2.4 Análisis de la eficiencia sin las unidades influventes	88

2.2.5. Resultados con restricciones en los pesos	94
2.2.6. Resultados con FDH	101
2.2.7. Conclusiones	105
2.3. Análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español	
por grupos	107
2.3.1. Diseño del análisis	107
2.3.2. Test no paramétrico de Kruskal-Wallis	110
2.3.3. Análisis de la eficiencia por grupos	115
2.3.4. Caracterización detallada del grupo principal	123
2.3.5. Conclusiones	126
2.4. Evolución de la eficiencia durante el período 1994-2008	127
2.4.1. Diseño del análisis	127
2.4.2. Cálculo del Índice de Malmquist de productividad	
de la actividad portuaria	128
2.4.3. Análisis DEA-Windows	135
2.4.4. Conclusiones	138
Capítulo 3. Introducción de la incertidumbre en el análisis	
de la eficiencia	143
3.1. Técnicas para el tratamiento de la incertidumbre en el análisis	
de eficiencia	146
3.2. Análisis Bootstrapping. Aplicación al Sistema Portuario Español	149
3.3. Análisis de tolerancias. Aplicación al Sistema Portuario Español	156
3.3.1. Metodología del análisis de tolerancias	156
3.3.2. Selección de las tolerancias	163
3.3.3. Aplicación al análisis de la eficiencia del Sistema	
Portuario Español	168
3.3.4. Conclusiones	171

3.4. Modelo fuzzy. Aplicación al Sistema Portuario Español	177
3.5. Caracterización detallada del grupo principal con el análisis	
de tolerancias y modelo fuzzy	186
3.6. Ranking de puertos	194
Capítulo 4. Perspectivas futuras de la eficiencia del Sistema	
Portuario Español y conclusiones	203
4.1. Introducción	205
4.2. Perspectivas futuras de la evolución del Sistema Portuario	
Español	210
4.2.1. Perspectivas de evolución del tráfico marítimo.	210
4.2.2. Previsiones de las inversiones en el Sistema Portuario	
Español	212
4.3. Ranking previsto de los puertos pertenecientes al Sistema	
Portuario Español	224
4.4. Análisis detallado del Grupo 3	228
4.5. Conclusiones generales	232
Bibliografía	241

# Presentación

El hecho de que el 80% del comercio internacional utilice la vía marítima<sup>1</sup>, ratifica la hegemonía del transporte marítimo como soporte al transporte internacional y la globalización del comercio. Según la información facilitada por la UNCTAD, en el 2008 el transporte marítimo internacional ha sido estimado en 8,17 mil millones de toneladas, con un crecimiento del 3,6% resptecto al período anterior.

Dicha relevancia del transporte marítimo internacional se traslada al ámbito nacional. En España, país de la Unión Europea con mayor longitud de costa (8.000 Km.), más de 25 millones de personas emplearon en el año 2009 las instalaciones portuarias españolas para sus desplazamientos. En cuanto al comercio exterior, el 59% de las exportaciones y el 82% de las importaciones españolas pasan por los puertos de interés general, lo que representa el 53% del comercio exterior español con la Unión Europea y el 96% con terceros países. Además, la actividad directa, indirecta e inducida del Sistema Portuario Español asciende al 20% del PIB del sector del transporte, lo que supone el 1,1% del PIB español.

Si añadimos a estas cifras la condición periférica de la península Ibérica y ultra-periférica de Canarias<sup>2</sup>, junto a una posición geográfica estratégica de algunos de nuestros puertos respecto a las principales rutas transoceánicas, queda patente el papel de España en el transporte marítimo internacional. En particular, los puertos españoles se enfren-

- (1) Medido en toneladas. Datos extraídos de "Review of Maritime Transport" publicada por la UNCTAD (2009).
- (2) Reconocida por la Unión Europea para el archipiélago en el artículo 299.2 del Tratado de Amsterdam (1997).

tan al reto de constituirse en la plataforma logística del Sur de Europa y de África occidental, fundamentalmente a través de los puertos canarios.

A este respecto, la nueva Ley 33/2010, de 5 de agosto³, 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, señala explícitamente, en su Preámbulo I, que: "... el modo marítimo es el de mayor capacidad de transporte de mercancías y el de menores costes de transporte por unidad transportada. Pero además, el transporte marítimo contribuye eficazmente a la movilidad sostenible, dados los bajos costes externos en relación con los restantes modos de transporte. Estas ventajas justifican la política de potenciación del modo marítimo/portuario a escala europea y, en concreto, de las autopistas del mar, preconizada desde la Unión Europea, y de la que España es uno de los primeros impulsores. Solamente con puertos eficaces y eficientes [...] se podrá producir este cambio modal imprescindible".

Asimismo, la Ley 33/2010 añade "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". De esta forma queda patente la necesidad en España de disponer de unos puertos eficientes, y tomar medidas que eliminen los costes de ineficacia que pudieran surgir en la gestión portuaria.

En esta misma línea, las investigaciones que analizan los motivos que guían a los usuarios del transporte marítimo a escoger entre uno u otro puerto para la realización de sus operaciones (siempre que haya alternativas) señalan múltiples móviles, destacando la eficiencia de dicho puerto como una variable determinante en la elección. A este respecto, Tongzon (2009) concluye que el factor más importante a la hora de determinar la selección de uno u otro puerto, desde el punto de vista de los transportistas, es la eficiencia del puerto, por delante de

<sup>(3)</sup> Boletín Oficial del Estado del 7 de agosto del 2010.

otros factores como la frecuencia de envío, la infraestructura adecuada, la ubicación geográfica del puerto, e incluso, las tarifas aplicadas. Estas conclusiones sorprenden y difieren de la idea intuitiva de que, principalmente, las tarifas aplicadas por los puertos (que ocupan el quinto lugar de la lista) son las que determinan su demanda, y nos alientan a profundizar en el estudio de la eficiencia del actual Sistema Portuario Español.

Aunque el término de "eficiencia" portuaria se ha referido tradicionalmente a la velocidad y la confiabilidad de los servicios portuarios<sup>4</sup>, cada vez adquiere un significado más amplio. Los servicios portuarios no se consideran aisladamente, sino integrados en un sistema que debe optimizarse con el fin de reducir costes, aumentar su productividad y competitividad en un entorno global. Por tanto, el nuevo concepto de eficiencia portuaria pasa necesariamente por la optimización de los recursos de los puertos con el fin de alcanzar unos objetivos previstos con el mínimo de recursos disponibles, o bien, obtener el máximo objetivo a partir de los recursos de que se dispone.

En este contexto, el análisis DEA o Análisis Envolvente de Datos (*Data Envelopment Analysis*) se constituye en una herramienta idónea para el análisis de la eficiencia de conjuntos de unidades de producción en términos de inputs y outputs múltiples. En concreto, el análisis DEA es una técnica basada en la programación lineal que tiene por objeto la evaluación de la eficiencia y la productividad de un conjunto de instituciones o individuos, denominados en general "unidades" (DMUs o *decision-making units*).

(4) Nos referimos a indicadores como: tiempo medio de permanencia del buque en el puerto, toneladas manejadas por grúa a la hora, tiempo total de rotación del buque, tasa de utilización de los muelles, etc.

El DEA es una metodología perteneciente a los denominados *métodos de frontera*, en los cuales se evalúa la producción de un conjunto de unidades respecto a la frontera de producción, dada por el máximo nivel de output alcanzable con una cierta combinación de inputs, o bien, el mínimo nivel de inputs necesario en la producción de un cierto nivel de outputs.

El primer modelo DEA publicado en la literatura es obra de Charnes, Cooper y Rhodes (1978) y es conocido como "Modelo CCR". Aunque este modelo es el más básico, representa la génesis de posteriores modelos, más próximos a la realidad y al comportamiento de las unidades analizadas.

En nuestro caso, vamos a abordar el análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español (SPE), eje principal de este estudio, tomando como referencia el análisis DEA original y algunas de sus extensiones que nos permitirán: ampliar el estudio a un entorno incierto, medir la evolución de la eficiencia de las distintas unidades a lo largo del tiempo o establecer un ranking en función del nivel de eficiencia de las mismas.

Con el objeto de proporcionar la mayor comprensión de las técnicas aplicadas y los resultados obtenidos, hemos estructurado la presente publicación en cuatro capítulos. Cada uno de ellos incorpora las principales conclusiones o resultados derivados de la metodología aplicada, que servirán de referencia para la determinación de las conclusiones globales del estudio, recogidas en el último capítulo.

A continuación, detallamos el contenido de los mismos:

El **primer capítulo** tiene como objeto enmarcar el contexto al que vamos a hacer referencia a lo largo de todo el trabajo. Tras la descripción del Sistema Portuario Español (SPE) analizamos la estructura de los puertos que lo componen en función de dos criterios: primero, su ubicación geográfica, según su localización en las diferentes fachadas del litoral español; segundo, a través del análisis "cluster" identificaremos grupos de puertos homogéneos en base a la actividad que desarrollan. Estas agrupaciones servirán de referencia en posteriores capítulos para el estudio pormenorizado de la eficiencia del Sistema Portuario Español.

En el **capítulo dos**, dedicado al análisis de la eficiencia técnica del SPE, establecemos las premisas teóricas del análisis DEA inicial (modelos CCR y BCC) y algunas de sus extensiones (DEA con restricciones en los pesos y modelo FDH). Dichas técnicas serán aplicadas posteriormente al análisis de la eficiencia de los puertos de interés general pertenecientes a las 28 Autoridades Portuarias del actual SPE, durante el periodo temporal comprendido entre los años 1994 y 2008, teniendo en cuenta las posibles unidades influyentes en el análisis.

El estudio de la eficiencia de los puertos pertenecientes al SPE se va a efectuar a dos niveles: en primer lugar, desde una óptica global, considerando como DMUs del análisis la totalidad de puertos de interés general, agrupados en las 28 AAPP existentes; en segundo lugar, desde un punto de vista sectorial, asumiendo la estructura obtenida en el capítulo anterior. Este segundo enfoque nos permitirá vislumbrar aspectos tales como si el SPE presenta un conjunto de puertos que destacan en eficiencia frente al resto, si la eficiencia de un puerto se modifica al compararlo con otros puertos similares o si existe alguna Autoridad portuaria que ostente el papel de líder en su grupo.

El nivel de eficiencia de un puerto en un momento puntual del tiempo no tiene por qué ser invariable. De hecho, puertos que en la década de los noventa no debían ser considerados eficientes pueden serlo en nuestros días, y al contrario. Por ello, con el objeto de analizar la evolución temporal de la eficiencia portuaria a lo largo del horizonte temporal contemplado, detallamos y aplicamos dos metodologías diferentes y complementarias basadas en la metodología DEA: el Índice de Malmquist y el Window Analysis.

Uno de los inconvenientes que presenta el análisis DEA es la presunción de determinismo en los datos. En la práctica, cualquier error de cálculo, inexactitud en los datos o falta de certeza en las variables empleadas podría alterar notablemente los resultados. Para dar respuesta a este problema han surgido numerosos instrumentos y técnicas que incorporan un entorno de incertidumbre al análisis de la eficiencia de las DMUs consideradas. A este respecto, en el **capítulo tres** revisamos las principales técnicas y modelos empleados con este fin en la literatura para, posteriormente, aplicar a nuestro estudio las tres técnicas que, en nuestra opinión, mejor se adaptan a nuestro escenario: el análisis bootstraping, el análisis de tolerancias y un modelo DEA con variables fuzzy.

El análisis bootstrapping, desarrollado por Efron (1979), es una de las técnicas más empleadas en el análisis de la eficiencia bajo condiciones de incertidumbre para obtener intervalos de confianza en aquellos casos en los que resulta imposible hallar la distribución muestral del estimador. Junto a esta técnica proponemos la aplicación de una metodología alternativa basada en los modelos DEA: el análisis de tolerancias. Siguiendo la investigación realizada por Bonilla, Casasús, Medal y Sala (2004), el inconveniente derivado de la incertidumbre en los datos se solventa definiendo "tolerancias" o posibles variaciones en todos los inputs y otputs seleccionados en el problema, para la totalidad de DMUs consideradas. Resolviendo el nuevo modelo DEA con tolerancias, llegaríamos

a un intervalo de eficiencia para los puertos pertenecientes al SPE, que nos permitiría conocer el nivel de eficiencia que podrían alcanzar ante variaciones en las variables contempladas. Seguidamente, trataremos la incertidumbre en los datos con un modelo DEA alternativo en el que los parámetros inciertos son considerados como números fuzzy triangulares.

El estudio de la eficiencia del Sistema Portuario no quedaría completo si no fuésemos capaces de aventurarnos a dar un paso hacia el futuro y predecir si existirán modificaciones importantes en los niveles de eficiencia obtenidos para los puertos españoles. Por ello, finalizamos el trabajo con un **cuarto capítulo** dedicado al análisis de las perspectivas futuras de la eficiencia del SPE.

Para este estudio, hemos partido de las previsiones realizadas por el *Organismo Público Puertos del Estado*, tanto a medio como a largo plazo (para el año 2013 y 2020), recogidas en el *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes (PEIT)*. El PEIT ofrece previsiones del tráfico, capacidad y grado de utilización de los distintos puertos nacionales (agrupados por fachadas marítimas) en dos escenarios: en primer lugar, un escenario "sin actuaciones", en el que las Autoridades Portuarias no llevan a cabo las inversiones en las infraestructuras planificadas debido a la actual crisis económica; y segundo, un escenario "con actuaciones" en el que se efectúan nuevas inversiones y se consolidan las ampliaciones previstas. A partir de estas previsiones, analizamos la eficiencia previsible de los puertos españoles a través de la aplicación del análisis DEA con tolerancias, obteniendo un posible ranking de las Autoridades Portuarias en función de su eficiencia prevista.

El capítulo cuarto finaliza aportando las principales conclusiones derivadas del estudio en su globalidad.

No queremos finalizar la presentación y justificación de este trabajo sin antes señalar que la metodología utilizada y los resultados alcanzados son tributarios de la calidad y desagregación de los datos obtenidos. Hemos tenido que lidiar con numerosas dificultades a la hora de obtener el detalle necesario en las variables empleadas y, en ocasiones, la información facilitada ha resultado ser poco ortodoxa.

A pesar de dichas contrariedades, son numerosos los profesionales relacionados con la actividad portuaria que han colaborado con la presente investigación siempre que lo hemos precisado y a los cuales quisiéramos mostrar nuestro agradecimiento. En concreto, quisiéramos agradecer a Leandro García, compañero y director general de la Fundación Valenciaport; a Javier Gesé, de Puertos del Estado; a Arturo Monfort y Noemí Monterde, de la Fundación Valenciaport y a Arturo Giner, de la Autoridad Portuaria de Valencia, su disponibilidad, su apoyo y sus acertados consejos.

En el ámbito universitario, son muchos los compañeros que nos han ofrecido sus consejos y conocimientos. Por ello, también deseamos mostrar nuestra gratitud a Matilde Fernández, Vicente Liern, Trinidad Casasús y José Emilio Farinós, en particular; y, en general, a todos los compañeros del Departamento de Finances Empresarials y del Departamento de Matemàtiques per a l'Economía i l'Empresa, de la Universitat de València, a la que pertenecemos.



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.

Por ello, comenzamos nuestro trabajo analizando la estructura e idiosincrasia del actual Sistema Portuario Español (SPE), con objeto de enmarcar el contexto al que vamos a hacer referencia a lo largo del presente trabajo. Tras una breve descripción del mismo y el análisis de la trayectoria seguida hasta nuestros días, estructuramos los puertos que lo componen en función de dos criterios: el primero de ellos hace referencia a la ubicación geográfica de los diferentes puertos del SPE, en función de su pertenencia a una de las diferentes fachadas que ocupa el litoral español.

El segundo de los criterios empleados para el análisis de la estructura del SPE se basa en la aplicación de técnicas de análisis multivariante. Concretamente, a través del análisis "cluster" identificaremos grupos de puertos homogéneos en función de la actividad que desarrollan. Definidos los "clusters" o grupos de puertos similares, procederemos a su caracterización en el tercer epígrafe. Esta agrupación servirá de referencia en posteriores capítulos para el estudio pormenorizado de la eficiencia del Sistema Portuario Español.

## I.I. Descripción y evolución histórica del Sistema Portuario Español

Los puertos españoles están regulados por 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 y la Ley 27/1992, de 24 de Noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante (LPEMM), modificada por Ley 62/1997, de 26 de Diciembre de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.

Esta normativa, entre otras cuestiones, hace distinción entre los puertos de titularidad autonómica y los puertos de titularidad estatal. En concreto, en España existen 53 puertos de interés general, gestionados por 28 Autoridades Portuarias (AAPP), tal y como se refleja en la Tabla 1.1. El resto de puertos, es decir, puertos pesqueros o deportivos con escasa actividad comercial, son gestionados por las diferentes Comunidades Autónomas.

La coordinación y el control de la eficiencia de las distintas Autoridades Portuarias corresponden al *Organismo Público Puertos del Estado (OPPE)*, organismo que depende del Ministerio de Fomento y al que se le atribuye la ejecución de la política portuaria del Gobierno. La localización geográfica de las 28 Autoridades Portuarias y el Organismo Público Puertos del Estado queda reflejada en la *Figura* 1.1.

Tabla 1.1. Autoridades Portuarias y puertos de interés general

Autoridad Portuaria	Puertos
1. Autoridad Portuaria de A Coruña	Puerto de A Coruña
2. Autoridad Portuaria de Alicante	Puerto de Alicante
3. Autoridad Portuaria de Almería	Puerto de Almería Puerto de Carboneras
5. Autoridad Portuaria de Baleares	Puerto de Alcudia Puerto de Eivissa Puerto de La Savina Puerto de Mahón Puerto de Palma de Mallorca
6. Autoridad Portuaria de Barcelona	Puerto de Barcelona
7. Autoridad Portuaria de Bilbao	Puerto de Bilbao

Autoridad Portuaria	Puertos
8. Autoridad Portuaria de Cartagena	Puerto de Cartagena Puerto de Escombreras
9. Autoridad Portuaria de Castellón	Puerto de Castellón
10. Autoridad Portuaria de Ceuta	Puerto de Ceuta
11. Autoridad Portuaria de Ferrol - San Cibrao	Puerto de Ferrol y su ría Puerto de San Cibrao
12. Autoridad Portuaria de Gijón	Puerto Deportivo Puerto de Gijón-Musel
13. Autoridad Portuaria de Huelva	Puerto de Huelva
14. Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras	Puerto de Algeciras-La Línea Puerto de Tarifa
15. Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz	Puerto de Cádiz y su bahía Puerto de M. de la Cabezuela Puerto de Santa María Puerto Real Puerto Sherry Zona Franca de Cádiz
16. Autoridad Portuaria de Las Palmas	Puerto Arinaga Puerto Arrecife Puerto de Las Palmas Puerto Rosario
17. Autoridad Portuaria de Málaga	Puerto de Málaga
18. Autoridad Port. de Marín y Ría de Pontevedra	Puerto de Marín y Ría de Pontevedra
19. Autoridad Portuaria de Melilla	Puerto de Melilla
20. Autoridad Portuaria de Motril	Puerto de Motril
21. Autoridad Portuaria de Pasajes	Puerto de Pasajes
22. Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife	Puerto Granadilla Puerto Guía de Isora Puerto La Estaca Puerto Los Cristianos Puerto de S. Sebastián de la Gomera Puerto de Santa Cruz de la Palma Puerto de Santa Cruz de Tenerife
23. Autoridad Portuaria de Santander	Puerto de Santander
24. Autoridad Portuaria de Sevilla	Puerto de Sevilla y su ría

Autoridad Portuaria	Puertos
25. Autoridad Portuaria de Tarragona	Puerto de Tarragona
26. Autoridad Portuaria de Valencia	Puerto de Gandia Puerto de Sagunto Puerto de Valencia
27. Autoridad Portuaria de Vigo	Puerto de Vigo
28. Autoridad Portuaria de Vilagarcía de Arousa	Puerto Vilagarcía de Arousa y su ría

Fuente: elaboración propia



Figura 1.1. Localización de las AAPP y el OPPE

Fuente: Fundación Valenciaport

En la actualidad, el sistema de gestión del sistema portuario se basa en la Ley 27/1992, de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante y en sus modificaciones de 1997, 2003 y 2010.

Concretamente, la gestión de los puertos de interés general corresponde al modelo "landlord" o puerto propietario. En consecuencia, cada Autoridad Portuaria es proveedora de las infraestructuras y el suelo portuario, regulando el uso de este dominio público, mientras que empresas privadas prestan los servicios relacionados con la actividad portuaria en régimen de autorización o concesión.

No obstante, el modelo de gestión portuaria tal y como ahora lo entendemos no ha sido unánime en las últimas décadas. De hecho, hasta 1992 coexistían en España tres modelos diferentes de gestión portuaria: en primer lugar, los puertos de Barcelona, Bilbao, Huelva y Valencia, siguiendo el modelo de "puerto instrumento", disponían de un régimen de autonomía y estaban gestionados por unos organismos públicos denominados Puertos Autónomos; en segundo lugar, el resto de puertos de interés nacional eran gestionados de un modo centralizado, a través de las Juntas de Obras de los Puertos que dependían del entonces Ministerio de Obras Públicas; y por último, la Comisión Administrativa de Grupos de Puertos, administraba al resto de puertos que carecían de personalidad jurídica propia.

La Ley de 24 de noviembre de 1992 de Puertos del Estado y de la Marina Mercante suprime las luntas de Obras y los Puertos Autónomos y crea el Organismo Público Puertos del Estado, como coordinador y controlador del sistema portuario, junto con las Autoridades Portuarias, responsables de la gestión de los puertos. Este nuevo modelo responde al de puerto propietario o "landlord" y dota de autonomía global a todas las Autoridades Portuarias. Las modificaciones de la Ley 62/1997 otorgan un mayor papel a las Comunidades Autónomas en el funcionamiento y gestión de los puertos, y establecen un escenario de libre y leal competencia, definiendo el papel a desarrollar por el sector público y privado. En concreto, el texto legislativo de 1997 regula la intervención de las Comunidades Autónomas en la estructura y organización de los puertos de interés general proporcionándoles participación en el nombramiento de los órganos de gobierno de las AAPP ubicadas en dicha Comunidad Autónoma. Asimismo, esta reforma legal fortalece la autonomía funcional y de gestión de las AAPP, dándoles plena capacidad para desarrollar sus actividades conforme a criterios empresariales. Se potencia el papel del sector privado en la actividad portuaria y se garantiza la libertad tarifaria de las AAPP, lo que promueve una mayor competencia interportuaria a la hora de atraer nuevos tráficos, muy limitada anteriormente por la escasa liberalización de las tarifas.

La aprobación de la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de Régimen Económico y de Prestación de Servicios de los Puertos de Interés General, incorporó nuevos mecanismos con el objeto de potenciar la calidad y eficacia en la prestación de los servicios portuarios y comerciales e impulsar la posición competitiva de los puertos españoles en un contexto global, internacional y europeo. Esta ley subraya los factores o criterios de rentabilidad y eficiencia en la explotación del dominio público portuario y apuesta decididamente por un incremento de la participación de la iniciativa privada en la financiación, construcción y explotación de las instalaciones portuarias y en la prestación de los servicios portuarios.

Esta misma filosofía es adoptada y potenciada por la actual 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 refuerza la normativa anterior. Dicha Ley pone de manifiesto la relevancia del transporte marítimo en nuestra economía y en la competitividad de nuestro sistema productivo y refuerza la necesidad de adoptar medidas que mejoren la gestión de nuestros puertos y su eficiencia, en un contexto caracterizado por una creciente y fuerte competencia internacional.

Continuando con las aportaciones de sus predecesoras, la *Ley* 33/2010 avanza en la liberalización de los servicios portuarios e incorpora una completa regulación del dominio público portuario para potenciar la participación e inversión de la iniciativa privada en la actividad portuaria. Entre las aportaciones de esta Ley destaca, en primer lugar, la flexibilización del modelo tarifario con el objeto de que cada Autoridad Portuaria se pueda adaptar a la realidad económica de cada momento. Aunque las tasas de utilización mantienen una estructura y cuantías básicas comunes para el conjunto de las Autoridades Portuarias, se incorpora la posibilidad de establecer coeficientes correctores¹ diferentes con el fin de que cada Autoridad Portuaria pueda considerar su propia estructura de costes y pueda, así, garantizar el principio de autosuficiencia económica.

(1) Estos coeficientes correctores serán propuestos por cada Autoridad Portuaria en función de los límites y criterios establecidos por la normativa correspondiente, tomando como referencia sus previsiones plurianuales de tráficos, nivel de apalancamiento, necesidades de inversión, sus objetivos de gestión, la rentabilidad anual objetivo y un rendimiento razonable sobre el activo no corriente neto para los ejercicios siguientes. Dichos coeficientes deberán ser aprobados en la Ley de Presupuestos Generales del Estado de cada año, una vez acordados en el Plan de Empresa.

En segundo lugar, la Ley 33/2010 refuerza la liberalización de los servicios portuarios y de la actividad económica y comercial desarrollada en los puertos, consiguiendo así, tal y como se cita explícitamente en el Preámbulo I de dicha Ley, "que el conjunto de la legislación portuaria sea el cimiento estable para la mejora continua de la competitividad del sistema portuario de interés general en conjunto y de cada uno de los puertos que lo integran, asegurando el cumplimiento de su misión, que no es otra que coadyuvar al desarrollo económico y social del país".

Respecto a la organización y estructura del Sistema Portuario Español actual cabe señalar que no ha permanecido invariable a lo largo de la historia sino que, por el contrario, es fruto de la evolución y adaptación del sistema a las necesidades de la actividad portuaria y al marco jurídico-administrativo en vigor en cada momento.

Al analizar la evolución histórica de los puertos españoles, numerosos autores (Vigueras y Peña, 2000; Santos, 2001; Aparisi, 2006) señalan el año de la creación del Ministerio de Fomento<sup>2</sup> 1851, como un punto de inflexión en la evolución y desarrollo de los mismos. Por tanto, en el análisis de la trayectoria histórica del Sistema Portuario español únicamente abarcaremos el periodo comprendido desde mitad del siglo XIX hasta nuestros días.

Siguiendo a Caudeli (2006), cabe distinguir dos grandes etapas en el desarrollo y diseño de los denominados puertos actuales: la primera comienza en 1851 y concluye con la declaración de la Segunda Guerra Mundial<sup>3</sup>; y la segunda, comprendería los años transcurridos desde el final de la Segunda Guerra Mundial hasta nuestros días.

(2) Real Decreto del 20 de septiembre de 1851.

(3) Período comprendido entre 1939-1945.

La primera etapa (mitad s. XIX - Segunda Guerra Mundial) es un período caracterizado por multitud de cambios de gran relevan-

cia en el ámbito portuario: el paso de la navegación en vela al vapor, estructuras más firmes de las embarcaciones, incremento del comercio marítimo internacional, etc. Estos hechos condujeron a una ampliación y mejora en las infraestructuras portuarias: mayores calados, dársenas más amplias y mayores muelles. En este período podemos hablar de *puertos* de *primera generación*. Se caracterizan por seguir una política estratégica portuaria muy conservadora, dedicándose a la carga general, básicamente. Se trata de puertos carentes de comunicación respecto al transporte y comercio con el municipio al que pertenecen. En consecuencia, las distintas empresas portuarias también carecen de coordinación en temas de política comercial, cuyo objetivo es obtener mayores beneficios tanto a nivel individual como en conjunto.

En definitiva, en esta primera etapa, caracterizada por un notable avance tecnológico que se traslada a los sistemas y métodos de ejecución de las obras portuarias, se consolidan las bases e infraestructuras del actual Sistema Portuario Español.

La segunda etapa (Segunda Guerra Mundial – actualidad) está definida por la plenitud en el desarrollo del Sistema Portuario Español. Al finalizar la Segunda Guerra Mundial crece de forma significativa la demanda de materias primas para la reconstrucción de las zonas afectadas. Este hecho implica la necesidad de mayores flotas con suficiente capacidad de transporte. Aunque el desarrollo del transporte aéreo ocasiona una pérdida sustancial en el tráfico de pasajeros, el transporte de mercancías adquiere una nueva dimensión: el tráfico del petróleo desde el Golfo Pérsico hacia Europa y EEUU; y el tráfico de minerales, graneles pesados y carbón derivó en la creación de barcos de transporte de grandes capacidades4. El uso de embarcaciones de esta envergadura determinó, asimismo, las características y dimensiones de los puertos, cuyo logro podemos vincularlo al gran desarrollo de la industria del dragado de la época.

<sup>(4)</sup> En el caso de los crudos, superior a 150.000 toneladas, llegando incluso a las 400.000 toneladas.

En esta etapa los puertos de primera generación evolucionan y dan paso a puertos más complejos y con una concepción más amplia de sus funciones. Los puertos dejan de ser un simple núcleo para la carga y descarga de mercancías para transformarse en un centro más complejo que ofrece servicios industriales, comerciales y de transporte. Nacen los denominados puertos industriales o de segunda generación, correspondientes al último tercio del siglo XX, caracterizados por ser un eslabón más de la cadena logística del transporte. El volumen de la actividad portuaria aumenta y en sus inmediaciones comienza la construcción de instalaciones industriales, como la siderurgia o las refinerías, que estrechan y fortalecen las relaciones con el municipio en el que está ubicado.

Desde la última década del siglo XX y hasta nuestros días, la contenedorización surge como una auténtica revolución. A la carga en general y de productos a granel, se suma el transporte en contenedores y los puertos ponen su punto de mira en el transporte multimodal y plataforma logística. Se trata de los *puertos de tercera generación*, que dejan de tener una actitud pasiva en el comercio internacional, basada en la oferta de instalaciones y servicios, para convertirse en centros integrados de transporte y plataformas logísticas en un contexto global. Incorporan, como una oferta más, la capacidad para tratar y distribuir la información, se introduce la preocupación por la conservación del medio ambiente en el desarrollo de la actividad portuaria y se integran en el área metropolitana en la que se ubican como pieza clave de su vida y riqueza.

Son precisamente estas características las que definen los puertos que conforman el actual Sistema Portuario Español. No obstante, no debemos pensar que la evolución de sistema es plena y permanecerá sellada, sino que los puertos en el futuro deberán sostener y ampliar las cualidades que definen a los puertos de tercera generación, integrando los más recientes avances en el área de las comunicaciones y de las nuevas tecnologías.

#### 1.2. Análisis de la estructura del Sistema Portuario Español

El análisis de la estructura del SPE, gestionado actualmente por 28 Autoridades Portuarias, pretende definir grupos homogéneos de puertos bien por su situación geográfica o en función de la actividad que desarrollan. La disección del SPE en grupos de similar idiosincrasia nos permitirá posteriormente abordar el estudio de la eficiencia técnica del SPE de un modo más detallado, lo que conlleva conclusiones más pormenorizadas.

Una primera clasificación hace referencia a la ubicación en la geografía española de los diferentes puertos señalados. En particular, en función de su pertenencia a una de las diferentes fachadas que ocupa el litoral español, podemos definir 3 grupos de puertos, pertenecientes a las siguientes fachadas:

- I. Fachada Insular.
- 2. Fachada Norte / Noroeste.
- 3. Fachada Sur / Este.

La *Tabla* 1.2 recoge la adscripción de los diferentes puertos, pertenecientes a las 28 Autoridades Portuarias que conforman el SPE, a su respectiva fachada litoral.

Tabla 1.2. Puertos clasificados por fachadas

Autoridad Portuaria	Fachada
Baleares	
Ceuta	
Las Palmas	1. Fachada Insular
Melilla	
Santa Cruz de Tenerife	
A Coruña	
Avilés	
Bilbao	
Ferrol-San Cibrao	
Gijón	2. Fachada Norte/Noroeste
Marín y Ría de Pontevedra	
Pasajes	
Santander	
Vigo	

Autoridad Portuaria	Fachada
Alicante	
Almería	
Bahía de Algeciras	
Bahía de Cádiz	
Barcelona	
Cartagena	
Castellón	Fashada Covillata
Huelva	3. Fachada Sur/Este
Málaga	
Motril	
Sevilla	
Tarragona	
Valencia	
Vilagarcía	

Fuente: elaboración propia

Una segunda alternativa para el estudio de la estructura del SPE, consiste es analizar si existe una distribución homogénea de los puertos en cuanto a tráficos y funcionamiento.

La metodología estadística que nos permitirá alcanzar este objetivo es el denominado "análisis de conglomerados jerárquicos" o análisis *cluster*. Este procedimiento intenta identificar grupos relativamente homogéneos de individuos u objetos basándose en las características seleccionadas. Como resultado, los individuos pertenecientes al mismo grupo o "*cluster*" mostrarán grandes semejanzas entre ellos y diferencias con los individuos de otros grupos, es decir, una gran homogeneidad interna (intra-grupo) y una elevada heterogeneidad externa (entre-grupos).

En concreto, el análisis "cluster" agrupa los individuos en base a su cercanía, minimizando la distancia intra-grupos y, a la vez, maximizando la distancia entre-grupos. Aunque existen

distintas formas de medir la distancia entre los individuos<sup>5</sup> únicamente haremos referencia, en el siguiente epígrafe, a la *distancia* euclídea al cuadrado, por ser la medida más habitual y la utilizada en nuestro análisis.

Respecto a los individuos u observaciones que conforman la muestra a estructurar, cabe decir que es necesario que cumplan únicamente dos requisitos: representatividad de la muestra de individuos y no existencia de multicolinealidad entre las variables seleccionadas.

La primera de las condiciones, la representatividad de la muestra, es necesaria para que los resultados que se alcancen sean extensibles a toda la población. En nuestro caso, esta condición se cumple plenamente ya que el estudio se practica sobre toda la población, los 28 puertos nacionales que conforman el SPE, y no sobre una muestra o subconjunto de éstos.

La segunda condición, la no multicolinealidad entre las variables, exige independencia lineal entre las variables empleadas, puesto que, de no ser así, las variables dependientes incidirían con mayor peso en la determinación de los grupos, distorsionando los futuros resultados.

Tras la exposición de los aspectos genéricos del análisis *cluster*, a continuación destacamos los detalles de nuestro análisis.

#### 1.2.1. Diseño del análisis cluster

Tal y como se ha expuesto anteriormente, en España existen 53 puertos de interés general, gestionados por 28 Autoridades Portuarias. Con el objeto de analizar la estructura del SPE, procedemos a aplicar el análisis *cluster* sobre una población formada por la totalidad de los puertos de interés general agrupados en función de su correspondiente Autoridad Portuaria (AP) (*Tabla* 1.3).

Los datos seleccionados para el estudio corresponden a los ejercicios económicos comprendidos en el intervalo temporal

(5) Por ejemplo, la distancia euclídea o la distancia de Mahalanobis. 1994-2008. En concreto, hemos aplicado el análisis *cluster* en cada uno de los años seleccionados y para los valores medios de dicho período. Dado que los resultados de estos diferentes análisis no han reflejado diferencias significativas entre sí, posteriormente nos ceñiremos a las conclusiones obtenidas a partir de los valores medios de la muestra.

Tabla 1.3. Puertos analizados en el cluster

AP	Siglas	АР	Siglas	AP	Siglas
A Coruña	ACO	Castellón	CST	Pasajes	PAS
Alicante	ALI	Ceuta	CEU	S.C. Tenerife	TEN
Almería	ALM	Ferrol-San Cibrao	FER	Santander	SAT
Avilés	AVL	Gijón	GIJ	Sevilla	SEV
Bahía Algeciras	BAG	Huelva	HUE	Tarragona	TAR
Bahía de Cádiz	BCZ	Las Palmas	LPL	Valencia	VAL
Baleares	BAL	Málaga	MAL	Vigo	VIG
Barcelona	BAR	Marín y Ría de Pontevedra	MAR	Vilagarcía	VLG
Bilbao	BIL	Melilla	MEL		
Cartagena	CAR	Motril	MOT		

Fuente: elaboración propia

(6) Medido en €/TM. Los datos que, previamente a la incorporación de España a la Unión Monetaria Europea, estaban valorados en pesetas han sido convertidos a euros a través de la paridad fija establecida de 166,386 pesetas por euro.

Durante estos años, las variables seleccionadas para el estudio, y que desde nuestra óptica mejor caracterizan al conjunto de puertos nacionales, han sido dos: el *inmovilizado con respecto al tráfico total (T.T.)*<sup>6</sup> y la rentabilidad bruta.

En primer lugar, hemos seleccionado el ratio *Inmovilizado/T.T.* como medida de la actividad relativa de los distintos puertos. Puesto que la totalidad de los puertos nacionales presentan un gran peso del

inmovilizado sobre el activo total<sup>7</sup> el uso de una variable relativa nos permitirá llevar a cabo comparaciones entre entidades portuarias de distinta dimensión, y evaluar cuál ha sido el nivel de actividad llevada a cabo por cada puerto dada su infraestructura. En segundo lugar, hemos optado por introducir un aspecto económico en el análisis de la estructura del conjunto de puertos españoles: la rentabilidad bruta<sup>8</sup>. Aunque partimos del hecho de que la aplicación de un sistema de tarifas centralizado proporciona una importante restricción a la equiparación entre ingresos y gastos para el conjunto de AAPP, la introducción del resultado económico como medida de la eficiencia financiera puede contribuir en gran medida a la correcta agrupación de los puertos.

Una vez definidas las variables clasificadoras, cabe determinar el grado de homogeneidad entre los distintos puertos a través de la distancia que existe entre cada uno de ellos. Para ello, una de las medidas de distancia más utilizada, y la empleada en nuestro análisis, es la distancia euclídea al cuadrado. Esta medida presenta el inconveniente de depender de la unidad de medida de las variables y por ello, si las variables presentan diferentes escalas podríamos obtener resultados inexactos<sup>9</sup>. Una de las formas de solucionar este problema<sup>10</sup> es expresar todas las variables de forma estandarizada y aplicar la técnica sobre estas variables, tal y como hemos procedido en nuestro análisis.

El siguiente paso, consiste en verificar si las variables seleccionadas cumplen los supuestos básicos del análisis *cluster*. El primer requisito exige que la muestra de individuos sobre los que se va a aplicar sea representativa del total poblacional, condición que se cumple plenamente en nuestro caso. Al mismo tiempo es necesario que no exista multicolinealidad entre las variables clasificadoras. Este requisito justifica en parte que sólo hayamos utilizado dos variables en nuestro análisis que, tras comprobar que no son dependientes entre si, proporcionan información relevante y complementaria sobre los puertos analizados.

- (7) El balance de situación del sistema portuario de titularidad estatal al cierre del ejercicio 2007 presenta unos activos totales de 11.087 millones de €, de los que 9.900 millones corresponden al inmovilizado neto total (89,3% del activo total).
- (8) La rentabilidad bruta está medida como el cociente entre el resultado de explotación y los activos fijos de la entidad, expresado en términos porcentuales.
- (9) En nuestro caso, variables con grandes números (como es el caso del inmovilizado/ T.T.) contribuirán más al cálculo de las distancias entre los individuos que las variables que presenten números bajos (como la rentabilidad bruta).
- (10) Guía del SPSS para Windows.

Por último, para completar el diseño del análisis *cluster* nos faltaría definir el algoritmo de clasificación utilizado. De los diferentes algoritmos de agrupación existentes, hemos optado por el método de vinculación inter-grupos.

A continuación, detallamos los resultados obtenidos tras la aplicación del análisis al Sistema Portuario Español, tal y como lo acabamos de definir.

#### 1.2.2. Resultados del análisis cluster

En el análisis *cluster* se analiza la similaridad entre los distintos individuos y el proceso de partición comienza: se van agrupando los puertos en sucesivos niveles jerárquicos de forma que en un primer nivel cada individuo pertenece a un grupo diferente y en posteriores etapas se van combinando según el grado de semejanza hasta que todos los individuos pertenecen a un solo grupo. Los resultados pueden representarse en un diagrama de dos dimensiones denominado *dendograma* (*Figura* 1.2).

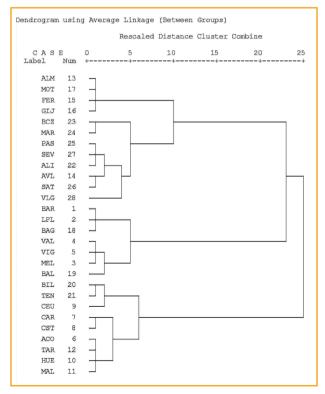


Figura 1.2. Dendograma del cluster

Fuente: elaboración propia. Resultado SPSS.

Dadas las características del proceso, el analista debe decidir qué nivel de semejanza entre los individuos de un mismo grupo es conveniente, esto es, el número de grupos más adecuado según la muestra. En nuestro caso se ha optado por elegir 4 grupos como representativos de la estructura del SPE (en el dendograma se aprecia claramente esta partición, correspondiente a un nivel de semejanza igual o inferior a 5). Los grupos señalados quedan recogidos en la *Tabla* 1.4.

Tabla 1.4. Resultados del cluster: grupos de puertos

Grupo	Puerto	
	Almería	ALM
1	Ferrol	FER
	Gijón	GIJ
	Motril	МОТ
	Alicante	ALI
	Avilés	AVL
	Bahía de Cádiz	BCZ
	Marín	MAR
2	Pasajes	PAS
	Santander	SAT
	Sevilla	SEV
	Vilagarcía	VLG

Fuente: elaboración propia

Grupo	Puerto	
	Bahía de Algeciras	BAG
	Baleares	BAL
	Barcelona	BAR
3	Las Palmas	LPL
	Melilla	MEL
	Valencia	VAL
	Vigo	VIG
	A Coruña	ACO
	Bilbao	BIL
	Cartagena	CAR
	Ceuta	CEU
4	Castellón	CST
•	Huelva	HUE
	Málaga	MAL
	Tarragona	TAR
	Santa Cruz de Tenerife	TEN

### I.3. Caracterización de los grupos de puertos que conforman el Sistema Portuario Español

Identificados los distintos grupos, el siguiente paso consiste en analizar las características propias de cada grupo, conforme a las variables clasificadoras empleadas en el análisis.

Para ello hemos representado gráficamente el bimonio Inmovilizado/TT – rentabilidad bruta de los cuatro *clusters* definidos (*Gráfico* 1.1). Para ello hemos empleado los valores medios de las variables clasificadoras.

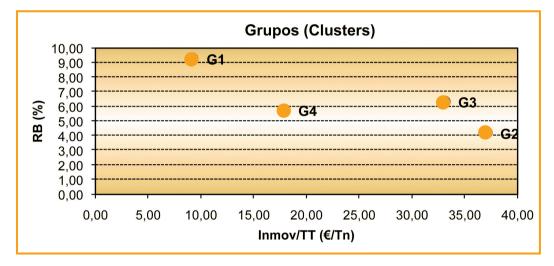


Gráfico 1.1. Resultados del cluster: grupos de puertos

Fuente: elaboración propia

Basándonos en las variables clasificadoras, podemos describir el perfil de los diferentes grupos seleccionados (representados en el *Gráfico* 1.1.):

**Grupo I:** formado por los puertos de Almería, Ferrol, Gijón y Motril, es el grupo que presenta mayores rentabilidades junto a elevados niveles de actividad, dada su infraestructura.

**Grupo 2:** lo integran un total de 8 puertos: Alicante, Avilés, Bahía de Cádiz, Marín, Pasajes, Santander, Sevilla y Vilagarcía. Este grupo es el que presenta los peores resultados, puesto que tiene los menores niveles de rentabilidad y actividad del sistema.

**Grupo 3:** lo componen los puertos de Bahía Algeciras, Baleares, Barcelona, Las Palmas, Melilla, Valencia y Vigo. Este grupo es el segundo en cuanto a niveles de rentabilidad se refiere, justo por detrás del grupo líder, pero niveles de actividad inferiores (mayor ratio Inmov/TT).

**Grupo 4:** es el grupo más numeroso y está compuesto por los puertos de A Coruña, Bilbao, Cartagena, Ceuta, Castellón, Huelva, Málaga, Tarragona y Santa Cruz de Tenerife. Presentan una buena rentabilidad bruta, aunque bastante inferior a la del grupo anterior, y una tasa de actividad considerable.

Tradicionalmente, los puertos han sido clasificados en función de la estructura de tráficos que poseen. Así, por ejemplo, se habla de graneleros sólidos o líquidos, puertos en los que predomina el tráfico de mercancía general o puertos mixtos. Si cotejamos la agrupación obtenida por el *cluster* con esta clasificación tradicional es posible ampliar el enfoque dado al estudio, enriqueciendo los resultados.

Con este fin, hemos desglosado los tráficos de cada una de las Autoridades Portuarias, para el mismo horizonte temporal del análisis *cluster*, en graneles sólidos (GS), graneles líquidos (GL) y mercancía general (MG). Los *Gráficos* 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5 reflejan los niveles de cada una de las variables empleadas para los diferentes grupos señalados, y nos llevan a la siguiente caracterización:

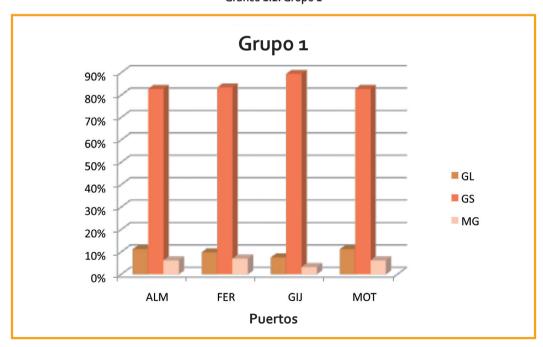


Gráfico 1.2. Grupo 1

Fuente: elaboración propia

**Grupo I:** lo forman los 4 puertos muy homogéneos en cuanto a la estructura de sus tráficos, ya que todos ellos presentan un claro predominio de los graneles sólidos (*Gráfico* I.2.). Esta mayor especialización en sus tráficos puede ser una de las causas de que sea el grupo mejor clasificado.

**Grupo 2:** lo forman 8 puertos con tráficos poco homogéneos, pero con superioridad en graneles sólidos y mercancía general, en términos genéricos (*Gráfico* 1.3.). Recordamos que este grupo es el peor clasificado según el análisis *cluster* aplicado.

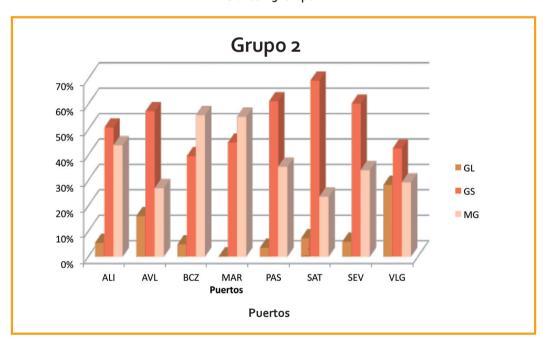


Gráfico 1.3. Grupo 2

Fuente: elaboración propia

**Grupo 3:** lo forman los 7 puertos que trafican principalmente con mercancía general. A modo de excepción, en este grupo destaca el puerto de Bahía de Algeciras (BAG) con un gran peso de los graneles líquidos en su tráfico total (*Gráfico* 1.4). Es un grupo compuesto por puertos muy rentables pero que presentan un nivel de actividad bajo con respecto al inmovilizado que poseen. Esto nos hace presuponer que puede ser el grupo que mayor crecimiento potencial posee para el futuro próximo, aunque estas cuestiones serán estudiadas más adelante.

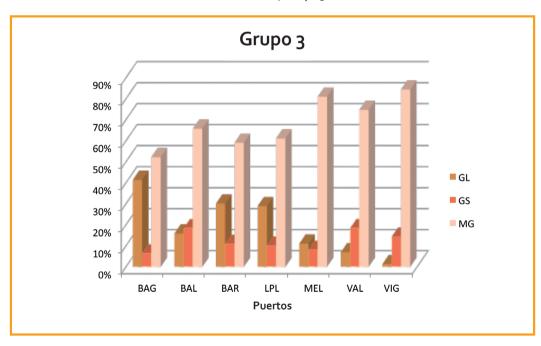


Gráfico 1.4. Grupo 3

Fuente: elaboración propia

**Grupo 4:** lo forman los 9 puertos con predominio de graneles líquidos (*Gráfico* 1.5). Es un grupo de puertos bastante rentables y con un nivel de actividad considerable. Algunos de ellos están especializados, en segundo lugar, en el tráfico de graneles sólidos (como A Coruña, Huelva, Málaga y Tarragona) mientras que otros destacan por el tráfico de mercancía general (es el caso de los puertos de Bilbao, Ceuta y Santa Cruz de Tenerife).

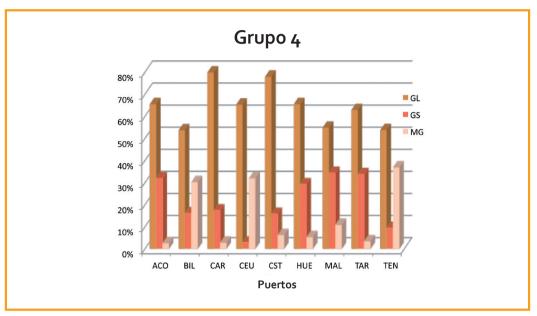


Gráfico 1.5. Grupo 4

Fuente: elaboración propia

Estas consideraciones ponen de manifiesto el hecho de que la especialización en la estructura del tráfico contribuye en gran medida a la caracterización de los puertos. Los grupos pioneros en cuanto a rentabilidad económica y niveles de actividad, han sido básicamente aquellos que han conseguido una mayor especialización en el tráfico de sus graneles, mientras que los puertos más diversificados pertenecen a grupos con peores resultados.

Sin pretender profundizar más en los resultados de la actividad de los puertos que componen el Sistema Portuario Español podemos concluir que presenta una clara estructura en concordancia con la clasificación tradicional de los puertos según los tráficos que componen su actividad. Esta estructura y los grupos que hemos detallado nos van a servir como referencia en el análisis de la eficiencia de los principales puertos nacionales, puesto que en el capítulo siguiente abordamos el estudio de la eficiencia técnica de los mismos, tanto desde un punto de vista global como sectorial, según los grupos definidos.

# 02

#### Análisis de la eficiencia técnica del Sistema Portuario Español

En la actualidad es incuestionable el carácter esencial y la importancia estratégica de los puertos en el desarrollo de la economía productiva y el comercio exterior particularmente en un país como España de carácter periférico respecto a los grandes centros europeos de producción y consumo. Los puertos de interés general nacionales son mucho más que un espacio en el que se desarrolla una serie de actividades económicas relacionadas con el tráfico marítimo, son infraestructuras que se integran como parte fundamental en un sistema general de transporte de carácter intermodal, sostenible y competitivo.

Por todo ello, 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, subraya los factores o criterios de rentabilidad y eficiencia en la explotación del dominio público portuario. Como consecuencia, en los últimos años ha aumentado el estudio de la planificación óptima de puertos y terminales, con el fin de potenciar la posición competitiva de los mismos en un contexto cada vez más globalizado.

En nuestro caso, vamos a abordar el análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español (SPE) tomando como referencia el tráfico que pasa por sus instalaciones, usando como método base el Análisis Envolvente de Datos ("Data Envelopment Analysis" o DEA). Esta técnica permite

ordenar y estimar los índices de eficiencia de cada una de las unidades o DMUs<sup>1</sup> objeto de estudio, en nuestro caso, los principales puertos de las 28 Autoridades Portuarias que componen el Sistema Portuario Español.

Comenzaremos el capítulo estableciendo las premisas teóricas del análisis DEA. Tras introducir los fundamentos teóricos del modelo DEA, tanto con rendimientos constantes a escala como variables, aplicaremos la metodología DEA con restricciones en los pesos.

A continuación, introduciremos el modelo FDH que nos permitirá solventar una de las principales críticas de los modelos DEA tradicionales puesto que compara la unidades "reales" entre si sin necesidad de obtener sus "proyecciones" sobre la frontera, tal y como ocurre en la metodología habitual.

Puesto que la posible existencia de unidades influyentes puede alterar de forma notable los resultados obtenidos en el estudio de la eficiencia, aplicaremos un análisis de influencia al conjunto de puertos del SPE con el fin determinar si existe alguno que debamos considerar como influyente y así considerarlo en las siguientes aplicaciones del análisis.

Seguidamente, se exponen dos técnicas que nos permitirán seguir la evolución en el tiempo de la eficiencia de las DMUs determinada en un momento puntual, nos referimos al Índice de Malmquist y al Window Analysis.

Tras enmarcar teóricamente el estudio, el contenido de este capítulo sigue con un epígrafe destinado a la aplicación de la metodología DEA para el análisis global de la eficiencia de los principales puertos pertenecientes al SPE, durante el periodo temporal considerado desde 1994 hasta 2008. En este estudio se aplicarán todas las técnicas descritas en el epígrafe anterior,

<sup>(1)</sup> Siglas que corresponden al término anglosajón de "Decision-making Units".

analizando las posibles unidades influyentes en el grupo. El epígrafe finalizará detallando las conclusiones derivadas del análisis efectuado.

En el tercer epígrafe del presente capítulo se retoma de nuevo el análisis de la eficiencia del SPE en función de la estructura definida en el capítulo anterior. En concreto, a partir de las mismas variables e idéntico horizonte temporal descritos en el epígrafe anterior, aplicamos la metodología DEA a los grupos delimitados anteriormente con el fin de analizar la eficiencia relativa de cada puerto respecto a otros homólogos. Completamos el epígrafe señalando las principales conclusiones derivadas de la aplicación de las técnicas propuestas al estudio de la eficiencia de los grupos definidos en el actual SPE.

Finalizamos el capítulo con un epígrafe dedicado al estudio de la evolución de la eficiencia de los puertos a lo largo del horizonte temporal contemplado. En este último epígrafe se exponen los resultados obtenidos a partir de la aplicación de dos metodologías diferentes y complementarias para el estudio de la evolución temporal de la eficiencia portuaria: el Índice de Malmquist y el Window Analysis. El epígrafe concluye extrayendo las principales conclusiones derivadas del estudio de las variaciones en la eficiencia del SPE a lo largo del horizonte temporal contemplado.

#### 2.1. Marco teórico del análisis de la eficiencia: modelos DEA

Tradicionalmente la eficiencia ha sido un tema muy estudiado y trabajado desde el punto de vista económico. El uso de los ratios o cocientes entre magnitudes ha sido, y sigue siendo, un procedimiento habitual para medir la eficiencia de diferentes unidades. También en el caso de los puertos se han utilizado estos ratios como medida de la eficiencia financiera (por ejemplo, evaluar el cociente entre activo circulante y activo total), para medir resultados económicos (como la rentabilidad neta de la explotación, cociente entre el resultado y el inmovilizado), así como para evaluar la estructura del tráfico portuario (medir, por ejemplo, la participación de los graneles sólidos sobre el tráfico total del puerto). Este cociente entre una magnitud output y otra input da lugar a una medida usual de eficiencia, como queda reflejado en la ecuación [2.1]:

eficiencia = 
$$\frac{\text{output}}{\text{input}}$$
 [2.1]

Sin embargo, en muchas ocasiones la realidad es más compleja, apareciendo múltiples outputs e inputs, lo cual conlleva la aparición de una nueva medida de eficiencia, la eficiencia relativa que viene dada la ecuación [2.2] o, más concretamente, para un individuo o unidad j (ecuación [2.3]). De esta forma, la medida de la eficiencia queda usualmente restringida al rango [0,1], siendo 0 el valor representativo de la máxima ineficiencia y I el coeficiente que obtendría una unidad completamente eficiente.

eficiencia = 
$$\frac{\text{suma ponderada de outputs}}{\text{suma ponderada de inputs}}$$
 [2.2]

eficiencia de la unidad 
$$j = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + ...}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + ...}$$
 [2.3]

Donde:

 $u_i = peso dado al output i$ 

 $y_{ii}$  = cantidad de output i de la unidad j

 $v_i$  = peso dado al input i

 $x_{ij} = cantidad de input i para la unidad j$ 

El DEA o Análisis Envolvente de Datos (*Data Envelopment Analysis*), supone la generalización del análisis tradicional de los ratios de actividad permitiendo considerar de forma simultánea varios inputs y outputs. Se trata de una técnica basada en la programación lineal que tiene por objeto la evaluación de la eficiencia y la productividad de un conjunto de instituciones o individuos, denominados en general "unidades" (DMUs o *decisionmaking units*, en la terminología habitual). En concreto, en este tipo de análisis se calcula la *eficiencia relativa* para cada DMU comparando sus inputs y outputs respecto a todas las demás DMUs.

El DEA ha demostrado ser un método poderoso para el análisis de la eficiencia de conjuntos de unidades de producción en términos de inputs y outputs múltiples. Esta técnica ha sido utilizada principalmente para analizar la eficiencia en organizaciones sin ánimo de lucro, donde las medidas para cuantificar el beneficio son particularmente difíciles de calcular, y más concretamente en el sector público. En los últimos años está siendo aplicada

a otros sectores, con una especial referencia al mundo de las instituciones financieras. El DEA pertenece al grupo de los denominados *métodos de frontera*, en los cuales se evalúa la producción de un conjunto de unidades respecto a la frontera de producción, dada por el máximo nivel de output alcanzable con una cierta combinación de inputs, o bien, el mínimo nivel de inputs necesario en la producción de un cierto nivel de outputs (*Figura* 2.1).

En el contexto DEA, una unidad se evalúa como eficiente si el comportamiento de otras unidades nos muestra que alguno de sus inputs u outputs puede ser mejorado sin empeorar alguno de los restantes inputs u outputs. En caso contrario, la unidad se califica de ineficiente y se proporciona para la misma una medida de su ineficiencia, identificándose, además, tanto las fuentes de dicha ineficiencia como las posibles direcciones de mejora para alcanzar la eficiencia.

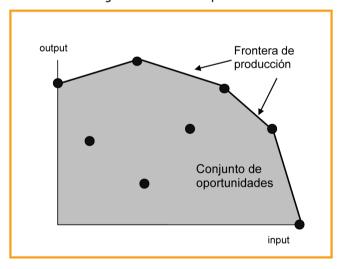


Figura 2.1. Frontera de producción

Fuente: elaboración propia

En los modelos no paramétricos, el análisis de eficiencia no requiere ninguna hipótesis sobre la frontera de producción, siendo la eficiencia de una unidad definida con respecto a las unidades "observadas" con mejor comportamiento. Este análisis se detiene en la

identificación del "mejor comportamiento" en lugar de en el "comportamiento medio", como hace el análisis de regresión.

Además de medir la eficiencia relativa, usando un DEA se obtiene:

- Una superficie envolvente empírica, lineal a trozos (ver Figura 2.1), que representa la mejor frontera en la práctica.
- Una métrica eficiente para representar la medida de comportamiento máximo para cada DMU, medida por su distancia a la frontera.
- Objetivos específicos o proyecciones eficientes sobre la frontera, para cada DMU ineficiente.
- Un conjunto de referencia eficiente o peer group para cada DMU, definida por las unidades eficientes más próximas a ella. Se observa que los conjuntos de referencia o peer DMUs producen el mismo o mayor nivel de outputs con igual o menor inputs en relación con las DMU ineficientes sujetas a comparación.

La aplicación del DEA presenta una serie de ventajas e inconvenientes. Entre las <u>ventajas</u> cabe destacar el hecho de que:

- a) DEA admite modelos con múltiples inputs y outputs.
- b) DEA no requiere una hipótesis de relación funcional entre dichos inputs y outputs.
- c) Las unidades se comparan directamente con otras unidades o una combinación de ellas.
- d) Los inputs y outputs pueden representar diferentes unidades, por ejemplo una magnitud puede venir medida en unidades físicas (toneladas), mientras que otra unidad tiene su medida en unidades monetarias (euros), sin que se requiera una relación *a priori* entre ellas.

Algunas de las limitaciones que presentan estos tipos de modelos son:

a) Si bien la metodología no paramétrica presenta la ventaja de la gran flexibilidad y ausencia de errores de especificación, al no ser preciso optar por ninguna forma funcional, presenta el inconveniente de ser una técnica determinista, por lo que la presencia de observaciones atípicas puede sesgar las medidas de eficiencia obtenidas, imputando a la ineficiencia cualquier "shock" de carácter aleatorio. Sin embargo, la medición de la eficiencia mediante técnicas estocásticas permite la existencia de desviaciones de la frontera distintas de la ineficiencia.

- b) Los métodos no paramétricos ignoran generalmente los precios y miden sólo la ineficiencia técnica cuando se utilizan demasiados inputs o se producen pocos outputs.
- Dado que DEA es una técnica de punto extremo, ruidos (incluso las distorsiones simétricas con media cero), tales como errores de medición, pueden causar problemas significativos.
- d) DEA converge lentamente a la eficiencia absoluta, es decir, no nos indica cómo se comporta una unidad en relación con un "máximo teórico".
- e) La conocida como "regla de Cooper" (Charnes y Cooper, 1990) establece que como mínimo el número de DMU's objeto de análisis debe ser el doble que la suma del número de inputs y de outputs².
- f) Los tests de hipótesis estadísticas son difíciles de aplicar, por ser un método no paramétrico.
- g) Este tipo de análisis funciona relativamente mal cuando el número de DMUs es bajo.

El primer modelo DEA publicado en la literatura fue introducido por Charnes, Cooper y Rhodes en 1978. Conocido como "Modelo CCR", es el modelo más básico en la metodología DEA y la génesis de posteriores modelos, más próximos a la realidad y comportamiento de las unidades analizadas. Sus fundamentos son expuestos en el siguiente epígrafe.

## 2.1.1. Modelos DEA con rendimientos constantes a escala (CRS): modelo CCR

Charnes, Cooper y Rhodes en su artículo inicial (1978³) proponen un modelo para analizar la eficiencia de las diferentes unidades o DMUs suponiendo que presentan rendimientos constantes a escala ("Constant Returns to Scale" o CRS). En concreto, suponen que la eficiencia de una unidad objetivo j<sub>o</sub> puede ser obtenida como solución del problema de Maximizar la eficiencia de una unidad j<sub>o</sub> restringida a la eficiencia de todas las unidades, según la siguiente formulación [2.4]:

- (2) La regla de Cooper establece la relación que debe existir entre el número de DMUs y el de inputs y outputs. En concreto, según esta regla: DMUs  $\geq \alpha$  (input + outputs). Es decir, el número de DMUs debe ser  $\alpha$  veces la suma del número de inputs y outputs. Por lo general, el valor  $\alpha$  se establece en 3, aunque también serian admisible valores inferiores, como por ejemplo 2.
- (3) Charnes, A.; Cooper W.W. y Rhodes, E. (1978): "Measuring the Inefficiency of Decision Making Units". European Journal of Operational Research. N. 2, 429-444

Max 
$$h_o = \frac{\displaystyle\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj_o}}{\displaystyle\sum_{i=1}^{s} v_i x_{ij_o}}$$
 [2.4]  
s.a: 
$$\begin{cases} \frac{\displaystyle\sum_{i=1}^{s} u_r y_{rj}}{\displaystyle\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1 & j=1,...n \\ \frac{\displaystyle\sum_{i=1}^{s} v_i x_{ij}}{\displaystyle\sum_{i=1}^{s} v_i x_{ij}} \leq 0 & r=1,...s \\ v_i \geq 0 & i=1,...m \end{cases}$$

#### Donde:

- $h_i$  (i = 1...n) son las unidades a evaluar.
- $y_{ri}$  representa el output "r" (r = 1...s) de la unidad "j" (j = 1..n)
- $u'_i$  son las ponderaciones de los diferentes outputs
- $x_{ij}$  refleja el input "i" (i = 1...m) de la unidad "j" (j = 1...n)
- v<sub>i</sub> son las ponderaciones de los diferentes inputs.

Cada unidad j queda descrita por el conjunto de sus valores en los inputs  $x_{ij}$  y en los outputs  $y_{ij}$ . Coloquialmente, se puede interpretar que la función objetivo es el ratio entre una suma ponderada de outputs  $(y_{ij})$  con relación a la suma ponderada de los inputs  $(x_{ij})$ . La elección de los pesos  $(u_{ij}, v_{ij})$ , es precisamente la solución del modelo, ya que elige la combinación que mejor sitúa a la unidad  $j_{ij}$  respecto a las demás. Las restricciones son los ratios de todas las unidades que entran en el análisis, y con las que se comparan.

El modelo anterior, conocido como **Modelo CCR** (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978), se resuelve una vez para cada una de las unidades en estudio, siendo el valor óptimo del

problema la medida de eficiencia correspondiente a la unidad evaluada. Con este programa se persigue la maximización de una especie de índice de productividad total de los factores (unidad de output producida por cada unidad de input empleada), calculado éste como el cociente entre un output y un input virtuales que se obtienen agregando los outputs e inputs observados para la unidad evaluada.

En este contexto, una unidad será eficiente si existe un conjunto de pesos positivos para el cual el ratio asociado valga I. En caso contrario, la unidad será ineficiente, porque aún utilizando el sistema de pesos más ventajoso para la misma, o bien es posible encontrar otra unidad con un ratio de eficiencia mayor, o bien alcanza un ratio igual a I pero a costa de adjudicar necesariamente un peso nulo a alguna de las variables consideradas en el análisis.

Desde el punto de vista matemático, se trata de un problema de programación fraccional o hiperbólica lineal, que admite una conversión a un problema lineal. Es decir, el modelo DEA es un modelo no lineal, pero linealizable. Una de las posibles versiones lineales es la recogida en la ecuación [2.5], que hace constante el valor del numerador de la función objetivo y minimiza el denominador:

Min 
$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij_o}$$
 [2.5]  
s.a: 
$$\begin{cases} \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} = 1 \\ \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \quad j = 1,...n \\ u_r \ge 0 \quad r = 1,...s \\ v_i \ge 0 \quad i = 1,...m \end{cases}$$

El problema anterior [2.5] se conoce como *modelo CCR de orientación input*. En la práctica, sin embargo, se suele resolver su problema dual, que formulamos a continuación [2.6], dado que tiene menor número de restricciones y admite una interpretación muy intuitiva.

Max
$$\phi$$
 [2.6] s.a : 
$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0} & i=1,...m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij} \geq \phi y_{r0} & r=1,...s \\ \lambda_j \geq 0 & j=1,...n \end{cases}$$

En la función objetivo aparece una variable,  $\phi$ , que mide la máxima expansión equiproporcional que podrían experimentar todos los outputs de la unidad evaluada sin modificar el valor de sus inputs y, de hecho, ésta es la interpretación habitual que se suele dar al índice de eficiencia obtenido con este modelo DEA. Además, el valor de este índice  $\phi$  mide la distancia radial de la unidad evaluada a la frontera empírica de producción construida a partir de las unidades observadas y que queda determinada por las unidades eficientes.

De manera análoga, la linealización del problema fraccional consistente en maximizar el numerador de la función objetivo manteniendo constante el denominador, da lugar al modelo CCR de orientación output. Y, de nuevo, utilizando la teoría de la dualidad, su valor óptimo o índice de eficiencia (valor entre [0-1]) establece la máxima reducción equiproporcional de todos los inputs de la mencionada unidad que es factible con su producción actual de outputs.

En cualquiera de estos modelos, una unidad se considera eficiente si su valor de la medida de eficiencia es I y, en el óptimo, todas las holguras de las restricciones son necesariamente nulas. Además, el valor que tome en el óptimo la expresión de la izquierda de cada una de las restricciones, determina el referente eficiente utilizado por la unidad para evaluar, por comparación, su eficiencia. De este modo, es posible determinar para cada unidad ineficiente la mejora que debería experimentar cada una de sus variables para alcanzar la eficiencia.

Los dos modelos anteriores asumen que la tecnología de producción verifica la hipótesis de rendimientos a escala constantes. Para el caso en el que esta hipótesis de trabajo no sea válida, se desarrolló un nuevo modelo, conocido como *Modelo BCC*, que incorpora

la condición de rendimientos a escala variables, tal y como se expone en el siguiente epígrafe.

### 2.1.2. Modelos DEA con rendimientos variables a escala (VRS): modelo BCC

El análisis DEA puede contemplar el hecho de que existan rendimientos variables a escala ("Variable Returns to Scale" o VRS). De esta forma es posible valorar si la unidad opera con rendimientos crecientes (cuando se incrementan los inputs, los outputs crecen más que proporcionalmente) o con rendimientos decrecientes (el caso contrario, en el que un incremento de los inputs produce un incremento menos que proporcional en los resultados).

El análisis de eficiencia con rendimiento variables a escala, conocido como **Modelo BCC** (Banker, Charnes y Cooper, 1984), puede formularse tanto en orientación input como en orientación output. Su ecuación coincide con la correspondiente al modelo CCR, salvo por la inclusión de la restricción [2.7] sobre las variables  $\lambda_i$ :

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \tag{2.7}$$

Por tanto, la formulación del Modelo BCC sería la siguiente [2.8]:

Dado que en todos los problemas lineales se puede resolver indistintamente el problema original (primal) como el dual, la elección de uno u otro problema determina la orientación elegida. Si la orientación es de input, ello implica elegir los mínimos inputs que proporcionan un output prefijado, mientras que si la orientación es de output, significa maximizar el output con unos inputs prefijados. Evidentemente, la resolución de una u otra orientación proporciona unos resultados similares, y por ello muchas veces la elección de la orientación depende de si se desea un problema de máximo o de mínimo.

Debe señalarse que, como puede apreciarse a partir de su formulación, los índices de eficiencia obtenidos a partir de los modelos CCR y BCC sólo tienen en cuenta la ineficiencia radial detectada para cada una de las unidades del estudio, pero no consideran en su cómputo la ineficiencia detectada por las holguras del problema correspondiente. A este respecto, se han desarrollado modelos DEA alternativos que dan lugar a medidas de eficiencia que contemplan todo tipo de ineficiencias (tanto radiales como no radiales).

En el caso de las eficiencias no radiales, la primera técnica que se desarrolló fue la denominada *medida de Russell*, representada en el modelo [2.9]. Este modelo trata de minimizar las desviaciones de todos los inputs y outputs de forma simultánea.

$$\begin{aligned} &\text{min} \quad R &= \frac{1}{m+s} \Biggl( \sum_{i=1}^m \theta_i + \sum_{r=1}^s \frac{1}{\varphi_r} \Biggr) \\ &\text{s.t.}: \quad \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} \leq \theta_i x_{i0} & i = 1, \dots, m \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{rk} \geq \varphi_r y_{r0} & r = 1, \dots, s \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 & \forall i \\ & 0 \leq \theta_i \leq 1 & \forall r \\ & \lambda_i \geq 0 & j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Una alternativa de esta medida es la conocida como SBM (Slack Based Measure), una medida no orientada publicada por Tone (2001) cuya formulación se recoge en el modelo [2.10].

Si se observa la expresión de la función objetivo del problema [2.10] podemos comprobar que el índice de eficiencia que proporciona contiene efectivamente todo tipo de ineficiencia, tanto radial como no radial, detectada en cada uno de los inputs y outputs considerados en el modelo. Además, el valor de esta medida no orientada puede interpretarse como el ratio entre el promedio de las desviaciones en los inputs y el promedio de las desviaciones en los outputs.

$$\begin{aligned} &\text{min} \quad R_{e0} = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{S_{i0}^{-}}{X_{i0}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^{s} \frac{S_{r0}^{+}}{y_{r0}}} \\ &\text{s.t.} : \quad \sum_{k=1}^{n} \lambda_{k} X_{ik} = X_{i0} - S_{i0}^{-} \quad i = 1, ..., m \\ &\quad \sum_{k=1}^{n} \lambda_{k} y_{rk} = y_{r0} + S_{r0}^{+} \quad r = 1, ..., s \\ &\quad \sum_{k=1}^{n} \lambda_{k} = 1 \\ &\quad S_{i0}^{-} \geq 0 \qquad \qquad i = 1, ..., m \\ &\quad S_{r0}^{+} \geq 0 \qquad \qquad r = 1, ..., s \\ &\quad \lambda_{j} \geq 0 \qquad \qquad j = 1, ..., n \end{aligned}$$

Por otra parte, cabe señalar que esta medida verifica ciertas propiedades deseables (invarianza y monotonía) para una medida de eficiencia, lo que representa una ventaja en relación con otras medidas de este tipo definidas en la literatura.

El modelo definido incorpora la restricción de convexidad para VRS (rendimientos variables a escala):  $\Sigma \lambda_j$ =1. En el caso de considerar CRS (rendimientos constantes a escala), basta con eliminar esta restricción del problema.

Si se multiplica el denominador y el numerador de la función objetivo del problema [2.10] por "t" (t>0), la medida no varia, y por ello, muchas de las aplicaciones utilizan esta formulación del problema, de forma que "t" se ajusta para que el denominador sea la unidad, y así convertir el problema anterior de no lineal en un problema lineal [2.11].

$$\begin{aligned} &\text{min} \quad R_{e0} = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{\mathbf{S}_{i0}^{-}}{\mathbf{X}_{i0}} \\ &\text{s.t.} : \quad t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^{s} \frac{\mathbf{S}_{r0}^{+}}{\mathbf{y}_{r0}} = 1 \\ & \qquad \qquad i = 1, \dots, m \\ & \qquad \sum_{k=1}^{n} \lambda_{k} \mathbf{X}_{ik} = \mathbf{X}_{i0} - \mathbf{S}_{i0}^{-} \\ & \qquad \qquad i = 1, \dots, m \\ & \qquad \qquad \sum_{k=1}^{n} \lambda_{k} \mathbf{y}_{rk} = \mathbf{y}_{r0} + \mathbf{S}_{r0}^{+} \\ & \qquad \qquad r = 1, \dots, s \\ & \qquad \qquad \sum_{i=1}^{n} \lambda_{k} = 1 \\ & \qquad \qquad \mathbf{S}_{i0}^{-} \geq 0 \\ & \qquad \qquad \mathbf{S}_{r0}^{+} \geq 0 \\ & \qquad \qquad \lambda_{j} \geq 0 \\ & \qquad \qquad \mathbf{j} = 1, \dots, n \\ & \qquad \qquad t > 0 \end{aligned}$$

Con ello se consigue una media orientada al input, y de la misma manera se puede conseguir una media orientada al output, sin más que maximizar el denominador del modelo original.

A estos modelos también pueden incorporarse las cotas que se consideren convenientes para limitar el peso de las ponderaciones. Además, se verifica que  $R_{e0} \leq \theta$ , siendo  $\theta$ , la eficiencia calculada con un modelo CCR (radial).

La consideración de los precios de los diferentes inputs y outputs seleccionados en el análisis de la eficiencia técnica a la que estamos haciendo referencia, permite abordar a su vez el estudio de la eficiencia económica de las unidades consideradas.

La comparativa de la medida SBM con la medida de Rusell, anteriormente citada, nos lleva a concluir que ambas se asemejan en lo siguiente:

a) Tanto la medida de Rusell como la SBM son medias no radiales que proporcionan un índice de eficiencia acotado entre 0 y 1, y relacionado directamente con las holguras de los inputs y los outputs. b) Las dos medidas son monótonas decrecientes con las holguras.

Las diferencias más importantes entre ambos modelos son:

- a) La medida Rusell requiere resolver un problema de programación no lineal, mientras que la SBM se resuelve a partir de un problema lineal.
- b) La medida de Rusell es una media comprendida entre la media aritmética y la media armónica, mientras que la medida SBM puede interpretarse como el cociente de las desviaciones (ineficiencias) de inputs y outputs.
- c) La medida Rusell, no tiene definido un dual, así como es difícil interpretar su significado, mientras que la SBM tiene dual y puede usarse para la interpretación económica.

Aunque ambos modelos han sido aplicados extensamente en la literatura para la medición de la eficiencia de un conjunto de unidades, la gran utilidad de los mismos es su capacidad para determinar el nivel de ineficiencia en cada uno de los inputs para las diferentes unidades. Así, es posible conocer qué tipo de modificación (reducción en el caso de los inputs o incremento en el caso de los outputs) debería producirse para alcanzar la consideración de unidad eficiente.

En la mayoría de los modelos analizados hasta ahora se ha minimizado la necesidad de conocer previamente los aspectos de los datos, es decir, se ha ignorado la importancia relativa de los diferentes inputs y outputs empleados en el análisis. No obstante, en algunos casos no todos los inputs u outputs tienen la misma relevancia, por lo que es necesario incorporar este conocimiento al análisis de eficiencia. Una de las técnicas más apropiadas para salvar este inconveniente es el modelo DEA con restricciones en los pesos, que analizamos en el siguiente epígrafe.

#### 2.1.3. Modelos DEA con restricciones en los pesos

Tal y como hemos analizado en los epígrafes anteriores, la metodología DEA analiza la eficiencia relativa de cada DMU a partir del cociente entre las suma ponderada de los outputs respecto a la suma ponderada de los inputs.

Las ponderaciones que se asignan a los diferentes outputs e inputs no están determinadas a priori, sino que el propio modelo resuelve el problema obteniendo las ponderaciones o pesos óptimos  $(v_i^*, u_j^*)$  que hacen máxima la eficiencia de cada DMU, dadas unas ciertas restricciones.

Como consecuencia, las ponderaciones de los outputs e inputs para los cuales una DMU es particularmente eficiente reciben unos valores máximos y el resto de ponderaciones reciben unos valores muy pequeños o cero (Cooper et al., 2000). De esta forma, la variable cuya ponderación es igual a cero no es tenida en cuenta en la evaluación de la eficiencia.

Para evitar este inconveniente, los modelos DEA permiten incorporar nuevas restricciones al problema de tal forma que pueda darse una importancia relativa diferente a cada uno de los inputs u outputs empleados en el análisis. En concreto, la metodología, conocida como Assurance Region<sup>4</sup> (AR), permite imponer restricciones adicionales sobre la magnitud relativa de los pesos de los diferentes inputs y outputs, de forma que formen una región de seguridad sobre estos pesos.

Suponiendo que las diferencias relativas afectan sólo a los inputs y que se trata de un modelo con dos inputs, la formulación general de la nueva restricción que mide la relación entre los pesos de los inputs I y 2, viene dada por la ecuación [2.12]:

$$L_{1,2} \le \frac{V_2}{V_1} \le U_{1,2}$$
 [2.12]

Donde  $L_{1,2}$  y  $U_{1,2}$  son las cotas inferiores y superiores de la relación entre los pesos de los inputs I y 2. Estas cotas inferiores y superiores suponen una información auxiliar adicional sobre el comportamiento de los datos. Esta aproximación puede considerarse como el paso previo a la incorporación de costes o precios a los datos.

(4) Región de Seguridad.

La formulación de este tipo de modelos requiere la definición previa de las matrices de cotas (tanto para los inputs como para los outputs). Así, las matrices para los pesos de los inputs (P) y los outputs (Q) vienen dadas por las ecuaciones [2.13] y [2.14], respectivamente.

De esta forma el planteamiento del modelo CCR (dual) con la restricción adicional dada por la técnica de Assurance Region (AR) quedaría reflejado en la ecuación [2.15], siendo X la matriz de inputs e Y la matriz de outputs. Este modelo contempla rendimientos constante a escala y consigue una media orientada al input, pero permite conseguir una media orientada al output (sin más que maximizar el denominador del modelo original) o bien, incorporar rendimientos variables a escala en el proceso de producción.

Min 
$$\theta$$
 [2.15] s.a: 
$$\lambda X - P\pi \le \theta x_0$$
$$Y\lambda + Qr \ge y_0$$
$$\lambda \ge 0$$
$$\pi \ge 0$$
$$r \ge 0$$

La aplicación del modelo DEA con restricciones en los pesos al estudio de la eficiencia del Sistema Portuario Español nos será de gran utilidad puesto que no todos los tipos de tráficos portuarios (graneles sólidos, graneles líquidos o mercancía general) tienen la misma importancia en la medida de la eficiencia de la actividad portuaria.

#### 2.1.4. Modelo FDH

Los modelos Free Disposal Hull (FDH) fueron desarrollados por Deprins, Simar y Tulkens (1984). El modelo FDH como parte de la metodología DEA, al igual que el DEA –en general-, se trata de una técnica no paramétrica que permite medir la distancia relativa a la que se encuentra una DMU de la frontera de producción estimada y, por lo tanto, también produce medidas (generalmente en forma de índice) de la ineficiencia relativa de la DMU analizada respecto a las restantes unidades.

La principal característica de los modelos FDH, y principal diferencia frente a los modelos DEA tradicionales, es que no imponen el supuesto de convexidad a la tecnología sino que asume una disponibilidad fuerte de inputs y output, es decir, que cualquier nivel dado de outputs sigue siendo factible si cualquiera de los inputs incrementa.

Este tipo de modelos se sustentan en el hecho de que frecuentemente es difícil hallar una justificación teórica o empírica que avale el postulado de convexidad en los conjuntos de posibilidades de producción. Como consecuencia de estas características, algunos autores argumentan que el modelo FDH son superiores al los modelos DEA en términos de "ajustar datos" (Tulkens, 1993).

Tanto el modelo DEA como el FDH tienen sus respectivos puntos fuertes y débiles (Lovell y Vanden Eeckaut, 1993). Respecto a las principales críticas y limitaciones de la metodología FDH cabe destacar, en primer lugar, que estos modelos pueden calificar como técnicamente eficientes unidades con vectores asociados de inputsoutputs que son ineficientes desde el punto de vista de maximización de beneficios (Tharll, 1999).

Esta crítica se sustenta en el hecho de que en los modelos FDH, las unidades consideradas como eficientes no llevan asociado necesariamente un vector de precios (pesos) virtuales para los inputs y los outputs que suponga un beneficio asociado a dichas unidades nulo, y negativo o nulo para el resto, a diferencia de lo que ocurre con los modelos DEA. Sin embargo, la argumentación de esta autor fue rebatida por Cherchye et al. (2000), quienes basándose en el criterio de eficiencia económica de Nerlove (1965), afirman que una combinación de inputs-outputs es económicamente eficiente si, para unos precios dados comunes para el conjunto de unidades, no puede hallarse otra combinación que obtenga un resultado económico mejor. Estos autores, llegan incluso a afirmar en su trabajo que los modelos FDH poseen mayor sentido económico que los DEA en caso de que los precios estén fijados endógenamente.

No obstante, debe mencionarse que, como consecuencia de *la menor imposición de estructura* a la función de producción de los modelos FDH respecto a los DEA, acostumbra a ser necesario disponer de un número mayor de unidades a comparar. Por contra, esta última limitación puede considerarse como una cierta ventaja, ya que aquellas unidades que aparecen como ineficientes en un análisis FDH, aunque sean en número reducido, adolecen de indiscutibles problemas de eficiencia (Giménez, 2004).

En segundo lugar, otra desventaja de los modelos FDH respecto a los modelos DEA es que los FDH son modelos de programación lineal entera mientras que los DEA son modelos de programación lineal. Los problemas enteros son problemas *NP-hard* los que significa una dificultad de resolución, ya que muchas veces es difícil encontrar el óptimo en este tipo de problemas frente a los modelos lineales que siempre tienen garantizada solución (si el problema es factible).

En los últimos años el esfuerzo computacional para resolver los problemas enteros se ha reducido de forma importante al recurrir a técnicas heurísticas de resolución e incluso a la determinación de soluciones factibles cercanas al óptimo que posteriormente son encontrados con métodos exactos (enumeración implícita o *branch and bound*). No obstante, los tamaños de los problemas a los que nos podemos enfrentar en estos casos son suficientemente reducidos para poder encontrar la solución optima con métodos exactos en escasos segundos.

El uso de la metodología FDH en este trabajo se basa en dos motivaciones: primero, garantizar que se efectúen medidas de la eficiencia de actuaciones realmente observadas y no sobre las proyecciones (que constituyen unidades hipotéticas) tal y como se permiten en los modelos DEA tradicionales; y, segundo, no disponemos de constancia teórica ni empírica que confirme la convexidad del conjunto de posibilidades de producción con el que trabajamos.

La Figura 2.2 ilustra conjuntamente los modelos FDH, DEA-CCR y DEA-BCC. El método DEA añade la condición de convexidad a las hipótesis de FDH. La convexidad permite las combinaciones lineales convexas de los puntos de la frontera, y por ello el segmento lineal que une el punto A con C es factible en DEA, pero no en FDH.

Tal y como se observa en la figura anterior, bajo la hipótesis de convexidad el punto B es ineficiente, ya que esta dominado por la frontera convexa. Sin embargo, si que lo es al ser evaluado con el modelo FDH.

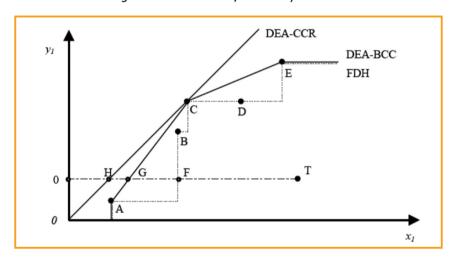


Figura 2.2. Modelos FDH, DEA-CCR y DEA-BCC

Fuente: elaboración propia

El modelo CCR supone rendimientos constantes a escala, y por ello todas la DMU's pueden ser escaladas proporcionalmente, Es decir, la frontera de los rendimientos constantes a escala es una rayo que partiendo del origen es tangente al punto C. Por otra parte, el modelo BCC de rendimientos variables se representa por la frontera formada por las aristas entre los diferentes puntos, por ejemplo entre A y C, entre C y E, y así sucesivamente.

Como acabamos de ver, los modelos CCR, BCC y FDH definen diferentes posibilidades de producción. Así, por ejemplo, la eficiencia (orientación input) de la DMU T, según el modelo FDH seria el cociente entre los segmentos 0F y 0T ( $0F_{0T}$ ), según el modelo

CCR seria:  ${}^{0}H\!/_{0T}$  y según BCC seria:  ${}^{0}G\!/_{0T}$  . Como puede verse tres medidas diferentes según la frontera.

Dadas k = 1,2,....K DMUs (puertos, en este caso), que cada una de ellas usa un vector de inputs  $x^k = (x_1^k, x_2^k, ..., x_N^k)_{(N\times 1)}$  para generar un vector de outputs  $y^k = (y_1^k, y_2^k, ..., y_M^k)_{(M\times 1)}$  donde  $\lambda$  es un vector de variables de intensidad (KxI). La medida de eficiencia  $\theta$  se obtiene al resolver para cada una de las unidades k' el siguiente problema de programación lineal entera [2.16]:

$$E_{I}(y^{k'}, x^{k'}) = Min \theta$$

$$s.a$$

$$\sum_{k=1}^{K} \lambda_{k} y_{km} \ge y_{k'm} \qquad m = 1,...,M$$

$$\sum_{k=1}^{K} \lambda_{k} x_{kn} \le \theta x_{k'n} \qquad n = 1,...,N$$

$$\sum_{k=1}^{K} \lambda_{k} = 1, \qquad k = 1,...,K$$

$$\lambda_{k} \ge 0, \qquad k = 1,...,K$$

$$\lambda_{k} \ge 0, \qquad k = 1,...,K$$

$$\lambda \in \{0,1\}$$

El modelo [2.16] es un problema de programación entera porque las variables  $\lambda$  son binarias<sup>5</sup>, a diferencia de los modelos DEA que solamente exigen la linealidad. Por tanto, si al modelo [2.16] se le elimina la condición:  $\lambda \in \{0,1\}$ , se obtiene un modelo DEA-BCC, y si se le elimina además la condición de convexidad:  $\sum_{k=1}^{K} \lambda_k = 1, \ k = 1,..., K$  se tiene un modelo DEA-CCR.

La medida de eficiencia,  $E_I(y^k,x^k)=\theta$  esta acotada entre 0 y I. Concretamente, se considera que una DMU es eficiente si  $\theta=I$ , mientras que es ineficiente si  $0 \le \theta < I$ . La diferencia entre el índice  $\theta$  y la unidad, puede ser considerada como la reducción potencial de los inputs para obtener el mismo output.

(5) Solamente pueden tomar valores 0 o 1.

#### 2.1.5. Análisis de influencia en DEA

Como se ha comentado anteriormente, uno de los principales problemas de la técnica determinista del DEA es la variabilidad de los resultados ante "shocks" en los datos, y en particular el efecto de la eliminación de datos (de uno en uno, o por grupos) sobre los resultados del análisis. Nuestro objetivo en este epígrafe es detectar las "observaciones influyentes", es decir, aquellas que determinan de una forma sustancial los resultados del análisis.

Este estudio es necesario puesto que la estimación de la frontera queda determinada por las observaciones muestrales que son puntos extremos. En particular, aquellas observaciones contaminadas por errores en los datos, que resulten ser puntos extremos sobre la frontera eficiente, podrían conducir a valores engañosos de la medida de la eficiencia para algunas de las restantes unidades que componen la muestra. Para ser más concretos, la eficiencia de algunas unidades podría resultar subestimada como consecuencia de la presencia de alguna o algunas observaciones (influyentes) en la muestra, de ahí la importancia de su detección.

Conviene no confundir el análisis de las unidades influyentes con la investigación de las unidades outliers. Se conoce con este nombre a una unidad que no se ajusta al patrón que siguen la mayoría de las unidades a analizar. Este análisis permite identificar las unidades "atípicas" dentro del análisis. De hecho, los outliers tienen a priori más posibilidades de ser clasificados como observaciones influyentes, pero ello no quiere decir que finalmente lo sean. En muchas ocasiones encontramos outliers cuya influencia en los resultados del análisis es apenas perceptible o incluso nula. De ahí la importancia que tiene hacer un estudio de influencia propiamente dicho y no simplemente investigar la existencia de outliers y observaciones anómalas.

Para la detección de las unidades influyentes existe una serie de técnicas generales que pueden ser consultadas en Pastor y otros (1999). En nuestro caso, dado que se trata de una población de tamaño reducido, usaremos un método más sencillo aunque un poco más costoso, que procede de la siguiente manera: en primer lugar, se analiza la eficiencia de las distintas unidades según los métodos descritos. En segundo lugar, se elimina cada una de las unidades que han resultado calificadas como completamente eficientes (con un coeficiente de eficiencia igual a la unidad) tras el análisis. En tercer lugar, eliminada dicha unidad de la muestra, se evalúa de nuevo la eficiencia del conjunto de unidades. Posteriormente, calculamos el ratio de los coeficientes de eficiencia originales (incluida

la posible unidad influyente) y los nuevos coeficientes con la muestra reducida, para cada unidad. Si se produce un cambio significativo en los resultados obtenidos estamos ante la presencia de una unidad influyente<sup>6</sup>.

# 2.1.6. Evolución temporal de la eficiencia: Índice de Malmquist y Window Analysis

Aplicando la metodología DEA a un horizonte temporal más o menos amplio podemos estudiar la evolución en la eficiencia de las distintas unidades que componen la muestra a lo largo del tiempo. No obstante, un simple análisis de cómo evoluciona la eficiencia de dicha unidad en varios períodos simultáneos podría llevarnos a conclusiones erróneas puesto que una unidad puede ser más o menos eficiente en sí misma, es decir, porque algún cambio en sus inputs o outputs así lo determinen, o bien, debido a que el nivel de eficiencia del resto de unidades con las que se compara ha variado, esto es, la frontera que mide la eficiencia máxima se ha modificado.

En este contexto, proponemos dos metodologías diferentes y complementarias con el objeto de analizar cómo afecta al nivel de eficiencia de las DMUs seleccionadas la evolución a lo largo del horizonte temporal considerado: el **Índice de Malmquist** y el **Window Analysis.** 

El Índice de Malmquist (Malmquist, 1953) mide las variaciones en la eficiencia de cada una de las unidades, distinguiendo si son debidas a cambios en sus propios inputs o outputs, o bien son imputables a los cambios o desplazamientos de la frontera<sup>7</sup>, a lo largo del horizonte temporal considerado. En otras palabras, el índice de productividad de Malmquist permite medir el cambio en la productividad de una unidad y descomponerlo en dos medidas o índices: por una parte el cambio debido a la eficiencia técnica (como consecuencia de variaciones en sus inputs o outputs) y por otra, el cambio en la eficiencia causado por el desplazamiento de la frontera tecnológica.

- (6) Una descripción práctica de la aplicación de este procedimiento puede consultarse en Bonilla et al. (2002).
- (7) Si la eficiencia del resto de unidades con las que comparamos la eficiencia de una determinada unidad cambia, se modificará la frontera que mide la eficiencia máxima y, en consecuencia, la unidad que estamos analizando será más o menos eficiente aunque no haya tenido cambios en sus inputs y outputs.

Los *índices de Malmquist* identifican el crecimiento de la productividad en dos periodos consecutivos por medio de un índice que viene dado como un ratio de funciones distancia, y este crecimiento de la producción viene medido usando únicamente datos de inputs y outputs. Para trabajar con este tipo de índices es necesario establecer las fronteras de producción y reconocer las unidades eficientes e ineficientes. Para calcular la frontera eficiente nosotros hemos usado la metodología DEA (Gillen y Lall, 1997) descrita en los epígrafes anteriores.

El uso de los *índices de Malmquist*, al igual que los modelos empleados en el análisis DEA, también tiene dos tipos de enfoque: uno desde el punto de vista del input y el otro desde el punto de vista del output. En este epígrafe nos vamos a centrar exclusivamente en la orientación del output a la hora de exponer esta metodología y las ecuaciones que la desarrollan.

La obtención de los *índices de Malmquist* de productividad requiere el cálculo de la distancia de una observación respecto a la frontera tecnológica contemporánea, pero también respecto a la frontera existente en otro momento del tiempo. Si denotamos por  $\mathbb{F}' = \{(x_i, y_i) : y' \text{ puede ser producido por } \mathbb{F}' \text{ en el momento } t\}$  en la aproximación desde el punto de vista del output, la producción tecnológica viene completamente caracterizada por la función distancia, definida por la ecuación [2.17] (Shephard, 1970).

$$d_0^t(y_t, x_t) = Min \left\{ \phi : (\stackrel{y_t}{/} \phi) \in P^t(x) \right\}$$
 [2.17]

Donde  $\phi \in [0,1]$  y  $d_0^t(y_t,x_t) \le 1$  si y sólo si  $y \in P^t(x)$ , siendo considerada técnicamente eficiente cuando  $d_0^t(y_t,x_t) = 1$ .

Cave et al. (1982) establecieron el uso de las funciones distancia para el cálculo de los *índices de Malmquist*, pero la elección de una u otra tecnología de referencia puede convertirse en una cuestión relevante, sobre todo cuando el periodo temporal a analizar es largo o en el caso de que nos encontremos ante un sector de rápido cambio tecnológico. Para resolver el problema que puede representar la consideración de una tecnología fija, Färe, et al. (1995) proponen el cálculo de un índice de productividad como la media geométrica de dos índices propuestos por Caves et al. (1982), de manera que la tecnolo-

gía de referencia puede cambiar con el tiempo. En este contexto, el Índice de productividad de Malmquist con rendimientos constantes a escala (CRS) y orientación output, queda formulado por la ecuación [2.18]:

$$M_0(y_t, x_t, y_{t+1}, x_{t+1}) = \left[ \frac{d_0^t(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_0^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_0^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_0^{t+1}(y_t, x_t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$
[2.18]

Esto representa la productividad del punto de producción  $(x^{t+1},y^{t+1})$  relativo al punto de producción  $(x^t,y^t)$ . Un valor mayor que uno indicará un aumento en la productividad desde el periodo t al periodo t+1. Este índice es, de hecho, la media geométrica de dos llamados "subíndices", uno usando la tecnología del período t y otro la de t+1.

La distancia de la observación en t+l representada por  $(x^{t+l}, y^{t+l})$ , respecto a la tecnología existente en el periodo anterior t, para la unidad  $h_o$ , vendrá dada por la función distancia  $d^t_o(x^{t+l}, y^{t+l})$ . En este caso la distancia no tiene porqué ser necesariamente menor o igual a la unidad, puesto que el cambio técnico puede situar a una observación correspondiente a un determinado momento del tiempo por encima de la frontera tecnológica existente en un periodo distinto.

La fórmula anterior puede ser descompuesta según se expresa en la ecuación [2.19]:

$$M_0(y_t, x_t, y_{t+1}, x_{t+1}) = \frac{d_0^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_0^t(y_t, x_t)} \left[ \frac{d_0^t(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_0^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})} \times \frac{d_0^t(y_t, x_t)}{d_0^{t+1}(y_t, x_t)} \right]^{\frac{1}{2}} = CE \times CT$$
[2.19]

Esta descomposición permite obtener el cambio en la productividad ocurrido entre los periodos t y t+1 como el resultado de la variación en los niveles de eficiencia, denominado cambio en eficiencia técnica (CE) -ecuación [2.20]- y el cambio por el progreso técnico, denominado cambio tecnológico (CT) -ecuación [2.21]- que muestra el efecto sobre la productividad del desplazamiento de la frontera.

$$CE = \frac{d_0^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_0^t(y_t, x_t)}$$
 [2.20]

$$CT = \left[ \frac{d_0^t(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_0^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})} \times \frac{d_0^t(y_t, x_t)}{d_0^{t+1}(y_t, x_t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$
 [2.21]

Las ecuaciones anteriores asumían rendimientos constantes a escala, tal y como hemos comentado previamente. Siguiendo con la misma terminología podemos introducir la existencia de rendimientos variables a escala (VRS) si asumimos que el cambio en la eficiencia técnica (CE en el modelo CRS) puede ser debido a cambios en la eficiencia técnica "pura" (CEP en el modelo con VRS) y cambios en la eficiencia en escala (CEE); es decir, CE = CEP ' CEE. En este nuevo contexto, la formulación del Índice de Malmquist viene dado por la ecuación [2.22].

$$M_{0}(y_{t},x_{t},y_{t+1},x_{t+1}) = \frac{d_{0}^{t}(y_{t},x_{t})_{VRS}}{d_{0}^{t+1}(y_{t+1},x_{t+1})_{VRS}} \times \frac{\frac{d_{0}^{t}(y_{t},x_{t})_{CRS}}{d_{0}^{t}(y_{t},x_{t})_{VRS}}}{\frac{d_{0}^{t+1}(y_{t+1},x_{t+1})_{CRS}}{d_{0}^{t+1}(y_{t+1},x_{t+1})_{VRS}}} \times \left[\frac{d_{0}^{t}(y_{t+1},x_{t+1})}{d_{0}^{t+1}(y_{t+1},x_{t+1})} * \frac{d_{0}^{t}(y_{t},x_{t})}{d_{0}^{t+1}(y_{t},x_{t})}\right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \text{CEP} \times \text{CEE} \times \text{CT}$$

A modo de resumen, en la *Tabla* 2.1. se exponen las conclusiones derivadas de los valores que pueden tomar los distintos índices anteriormente descritos.

Tabla 2.1. Índices de Malmquist: valores y conclusiones

	Índice > 1	Índice = 1	Índice < 1
Cambio en eficiencia técnica: CE	Ganancia en eficiencia técnica (con CRS).  La unidad evaluada se encuentra más cerca de la frontera tecnológica en el periodo t+1 de lo que estaba en el periodo anterior.	No hay cambios en la eficiencia técnica (con CRS) en el periodo t+1.	Pérdida en eficiencia técnica (con CRS). La unidad evaluada está más lejos de la frontera tecnológica en el perio- do t+1 que en t.
Cambio en eficiencia técnica pura: CEP	Ganancia en eficiencia técnica pura (con VRS).  La unidad evaluada ha conseguido acercarse en el periodo t+1 a la frontera tecnológica con rendimientos variables.	No hay cambios en la eficiencia técnica pura (con VRS).	Pérdida en eficiencia técnica pura (con VRS).  La unidad evaluada está más lejos de la frontera tecnológica en t+1 respecto al período anterior.
Cambio en eficiencia en escala: CEE	Significa un acercamiento a la escala más productiva.  La unidad evaluada ha reducido la distancia entre la frontera eficiente de rendimientos constantes a escala y la de rendimientos variables a escala, en el periodo t+1 respecto al periodo t.	No ha variado la escala de producción	Alejamiento de la escala más productiva.  La unidad evaluada ha incrementado la distancia entre la frontera eficiente de rendimientos constantes a escala y la de rendimientos variables a escala, en el periodo t+1 respecto al periodo t.
Cambio tecnológico: CT	Mejora en el cambio técnico (progreso tecno- lógico).	No hay cambios en el progreso tecnológico.	Se ha registrado una pérdida de productivi- dad o regreso técnico.

Fuente: elaboración propia

Tal y como indicábamos al inicio de este epígrafe, otra de las metodologías que permiten analizar la evolución del nivel de eficiencia de las DMUs seleccionadas a lo largo del horizonte temporal considerado es la técnica del **Window Analysis o DEA-Window**. El Windows Analysis o DEA-Window propuesto inicialmente por Charnes et al (1985) es

una extensión del DEA tradicional que analiza la eficiencia de las unidades teniendo en cuenta su evolución temporal. Este método generaliza el concepto de "medias móviles" con el fin de detectar los cambios en la eficiencia de las unidades seleccionadas a lo largo del tiempo.

En concreto, el *DEA-Window* relaciona los inputs y outputs de las diferentes unidades tomando distintos intervalos de tiempo (denominados "ventanas"). La amplitud de la "ventana", esto es, el número de periodos de tiempo que entran en comparación, depende del tipo de problemas y de las combinaciones que desee realizar el analista. En consecuencia, el número de ventanas que se debe considerar en cada estudio no está preestablecido, sino que debe ser determinado por el analista.

A este respecto, Asmild et al. (2004) proponen que la amplitud de la ventana debería ser lo más pequeña posible con el fin de minimizar las comparaciones injustas a lo largo del tiempo, pero lo suficientemente amplia para tamaño de la muestra aceptable. Por tanto, parece difícil encontrar alguna razón objetiva que justifique el tamaño de las ventanas así como el hecho de que, al estudiar la eficiencia de período asignado a cada ventana, parte del pasado es ignorado (Cullinane, Song, Ji y Wang, 2004).

En términos generales, Sun (1988) propuso las siguientes relaciones:

#### Siendo:

```
n: número de DMU's k: número de periodos p: amplitud de la ventana (p \le k) w: número de ventanas
```

Una vez seleccionada la amplitud de la ventana o número de periodos que intervienen en cada una de ellas, debemos aplicar el modelo DEA oportuno para obtener los diferentes valores del índice o *score* de eficiencia en cada uno de estos periodos. El análisis comienza

calculando los niveles de eficiencia de las unidades para la primera ventana, determinando los scores de todas las DMU's en el primer periodo. En el análisis de la segunda ventana, se analizan los scores de todas las DMU's de los periodos I y 2 conjuntamente, y así sucesivamente hasta llegar a la máxima amplitud. En las sucesivas ventanas se va eliminando el período más antiguo y se incorpora el siguiente. El proceso finaliza cuando ya no hay más períodos a incorporar y quedan solamente las DMU's del último periodo. Posteriormente, se procede a comparar los resultados obtenidos en los diferentes periodos del análisis. Dichos resultados se presentan en formato de tabla, admitiendo dos interpretaciones o "visiones": la visión horizontal (o por filas) permite determinar la tendencia o conducta del conjunto de datos. La visión vertical (o por columnas) muestra la estabilidad de los resultados con las sucesivas eliminaciones y reemplazos.

Este tipo de análisis incorpora la media de los resultados obtenidos como una medida representativa del conjunto, así como la desviación como indicador de la estabilidad del resultado. Así, los mejores resultados corresponderán a aquellas unidades que obtengan como resultado del análisis DEA-Window eficiencias medias altas junto con varianzas pequeñas.

Como se ha descrito, este tipo de análisis resulta fácil de aplicar, pero presentan una serie de inconvenientes como:

La no consideración de las holguras distintas de cero. Aunque esto es fácilmente subsanable utilizando otro tipo de medidas, como las SBM.

El período inicial y el final no aparecen en tantas ventanas como el resto de periodos. Una solución a este hecho es la propuesta de Sueyoshi (1988) de un método "round robin" (todos contra todos, como en las ligas de fútbol) en el que, inicialmente, se examina cada periodo por separado; en segundo lugar, se efectúa el análisis de 2 periodos; posteriormente, se analizan tres periodos, y así sucesivamente. No obstante, este método complica considerablemente la resolución del problema.

# 2.2. Estudio global de la eficiencia del Sistema Portuario Español

El estudio de la eficiencia del sector portuario ha sido y es una preocupación constante en un contexto nacional e internacional cada vez más competitivo. En términos generales, para realizar el estudio de la eficiencia portuaria se han aplicado dos tipos de

técnicas: la primera es la conocida como *metodología DEA* (Roll y Hayuth, 1993; Martínez Budría et al., 1999; Tongzon, 2001 y Bonilla et al, 2002 y 2004). La segunda, es la estimación econométrica de funciones y distancias (Liu, 1995; Baños-Pino et al., 1999; Jara Diaz et al., 2002 y Tovar, 2002).

El DEA y la estimación econométrica de funciones de frontera son alternativas para calcular la frontera de producción y por tanto, mediar la eficiencia en la producción y en los costes. Como similitud, ambas técnicas permiten obtener ratios de eficiencia relativa dentro de una muestra de unidades, que se comparan con la frontera de eficiencia. Como principal diferencia, destaca el hecho de que la estimación de funciones frontera supone el uso de métodos econométricos (es decir, un método paramétrico) mientras que el DEA es un método no paramétrico basado en el uso de la programación lineal.

Respecto a la estimación econométrica de funciones de frontera cabe señalar que la estimación paramétrica de las funciones de producción se realiza a partir de una muestra de datos que reúne la información económica relevante para caracterizar de modo exhaustivo el comportamiento de los agentes económicos. A la hora de elegir la forma funcional a utilizar para la estimación empírica, se debe escoger aquella estimación suficientemente rica en parámetros como para permitir un análisis de todos los efectos sin imponer restricciones "a priori". En concreto, la forma funcional utilizada en los primeros trabajos en el sector portuario fue la estimación de funciones de producción del tipo Cobb-Douglas [2.23]:

$$Y = A L^{\alpha} K^{\beta} T^{\gamma}$$

$$Y > 0, L > 0, K > 0, T > 0$$

$$\alpha \ge 0, \beta \ge 0, \gamma \ge 0$$
[2.23]

Donde Y es el producto, L es el factor trabajo, K el factor capital y T es el nivel de la tecnología disponible. Los parámetros a, b y g representan las elasticidades del producto respecto a cada uno de los factores.

Esta función es relativamente fácil de poder estimar, pero presenta el inconveniente de restringir los efectos escala y sustitución. Por ello, el paso siguiente es transformarla en una función *translog*, usando los logaritmos de los factores [2.24]:

$$\ln Y = C + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln T$$
 [2.24]

A modo de resumen, en la *Tabla* 2.2. se exponen los trabajos empíricos realizados sobre la eficiencia del sector portuario empleando métodos paramétricos de estimación econométrica de funciones y distancias, destacando la muestra empleada y las variables seleccionadas, así como la forma estimada para la función de producción.

Tabla 2.2. Estudio eficiencia portuaria con funciones de frontera

Autor	Actividad	Forma Funcional	Datos	Variables
Kim y Sachis (1986)	Infraestructura y servicios	Translog	19 Observaciones anuales	Toneladas de Mercancías Trabajo,Capital, Precios L y K
Reker et alt (1990)	Terminal de Contenedores	Coob-Douglas	3 Terminales Datos men- suales	Tiempo grúa Horas atraque Manos
Tongzon (1993)	Terminal de Contenedores	Coob-Douglas	3 Terminales Datos men- suales	Grúas por hora muelle Manos por hora muelle TEU's por hora muelle
Liu (1995)	Sin especificar	Translog	28 Puertos Ingleses Datos de panel 1983-1990	Trabajo, Inmovi- lizado, Tiempo
Baños-Pino et al. (1999)	Provisión de infraestructuras	Translog	Puertos Espa- ñoles Datos de panel 1985-1997	Toneladas de Mercancías, Unidades de Inmovilizado, Coste Mano de obra, Coste de Capital, Tiempo

Autor	Actividad	Forma Funcional	Datos	Variables
Coto-Millan et al (2000)	Provisión de infraestructuras	Translog	Puertos Españoles Datos de panel 1985-1998	Toneladas de Mercancías, Coste Mano de obra, Coste de Capital, Tiempo
Nottemboom et al (2000)	Servicios	Coob-Douglas	26 puertos USA y 4 Asia. 1994	Contenedores, Unidades de Inmovilizado
Estuche et al. (2002)	Provisión de infraestructuras	Coob-Douglas	11 puertos Mexicanos 1996-1999	Toneladas de Mercancías, Coste Mano de obra, Unidades de Inmovilizado
Cullinane et al (2002)	Servicios	Coob-Douglas	15 Puertos Asia 1989-1998	Contenedores, Unidades de Inmovilizado
Jara Díaz et alt. (2002)	Infraestructura	Cuadrática	27 puertos Datos anuales	Graneles y Mer- cancía General Canon, Precio L Precio K, otros precios
Tovar (2002)	Manipulación	Cuadrática	3 Terminales Datos men- suales	Contenedor MG Personal portua- rio y otros Precio K
Cullinane & Song (2003)	Servicios	Coob-Douglas	2 Coreanos 3 Ingleses 1978-1996	Ingresos por servicios, Coste Mano de obra, Coste de Capital
Díaz (2003)	Servicios	Cuadrática	21 Españoles 1990-1998	Coste total, Toneladas de Mercancías, Contenedores, Coste Mano de obra, Coste Capital, Tiempo
Tongzon & Heng (2005)	Servicios	Coob-Douglas	25 Internacio- nales	Contenedores, Unidades de Inmovilizado, Tamaño Termi- nal, Localización

Autor	Actividad	Forma Funcional	Datos	Variables
Cullinane et al (2006	Servicios	Coob-Douglas	57 Internacionales 2001	Contenedores, Unidades de Inmovilizado
Cullinane & Song (2006)	Servicios	Coob-Douglas	74 USA 2003	Contenedores, Unidades de Inmovilizado
Rodríguez-Álva- rez et al (2007)	Servicios	Translog	3 Españoles 1992-1998	Coste total, Toneladas de Mercancías, Contenedores, Coste Mano de obra, Coste Capital, Tiempo
González y Trujillo (2008)	Provisión de infraestructuras	Translog	9 Españoles 1990-2002	Toneladas de Mercancías, Contenedores, Pasajeros, Coste Mano de obra, Unid Inmovilizado, Localización, Refinerías

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, la metodología no paramétrica del DEA también ha sido aplicada al estudio empírico de la eficiencia del sector portuario. Esta técnica permite asignar al estudio distintas hipótesis sobre el comportamiento y rendimiento de las unidades objeto de estudio, empleándose los modelos CCR, BCC, con restricciones en los pesos, etc. descritos en el presente capítulo. Antes de aplicar esta metodología a nuestro propio análisis, en la *Tabla* 2.3 exponemos resumidamente las características de los estudios más relevantes realizados previamente sobre la actividad portuaria.

Tabla 2.3. Estudio eficiencia portuaria con Metodología DEA

Autor	Actividad	Método	Datos	Variables
Martínez Budría et alt. (1999)	Autoridades Puertos	всс	26 puertos 1993-1997	Trabajo, Depreciación capital Otros gastos, Total movimientos, Ingresos
Tongzon (2001)	Factores eficiencia y eficiencia contenedore	CCR	4 Puertos Australia 12 Internacio- nales	Grúas, Muelle, Área terminal Tiempo retraso Contenedores
Bonilla et alt. (2002)	Autoridades Puertos	CCR	27 puertos 1995-1998	Tn. de Mercancías Inmovilizado
Martín (2002)	Factores eficiencia	CCR I. Malmquist	27 puertos 1990-1999	Tn. de Mercancías, Trabajo, Inmovilizado
Barros (2003)	Autoridades Puertos	CCR	5 Portugal 1999-2000	Tn. de Mercancías, Buques, Contenedores, Inmovilizado, Trabajo
Bonilla et al. (2004)	Autoridades Puertos	BCCTolerancias	27 puertos 1995-1998	Toneladas de Mercancías Inmovilizado
Cullinane at al (2004)	Servicios	CCR BCC	25 Internacionales 1992-1999	Contenedores Unidades Inmo- vilizado
Estuche et al. (2004)	Autoridades Puertos	DEA I. Mamlquist	11 Mexicanos 1996-1999	Toneladas de Mercancías Trabajo, Inmovilizado
Park & De (2004)	Factores efi- ciencia	CCR BCC	11 Coreanos 1999	Toneladas de Mercancías, Valoración, Buques
Barros & Atha- nassiou (2004)	Autoridades Puertos	CCR BCC	4 Portugal 2 Griegos 1998-2000	Toneladas de Mercancías, Bu- ques, Contene- dores, Trabajo Inmovilizado

Autor	Actividad	Método	Datos	Variables
Turner et al. (2004)	Servicios	DEA Tobit	26 USA y Canadá 1984-1997	Contenedores, Unidades Inmo- vilizado
Cullinane et al. (2005a)	Servicios	CCR BCC	30 l nternacionales 1992-1999	Contenedores, Unidades Inmo- vilizado
Cullinane et al. (2005b)	Servicios	CCR, BCC FDH	57 Internacionales 2001	Contenedores, Unidades Inmo- vilizado
Cullinane et al. (2006)	Servicios	CCR BCC	57 Internacionales 2001	Contenedores, Unidades Inmo- vilizado
Wang y Cullina- ne (2006)	Servicios	CCR BCC	104 USA 2003	Contenedores, Unidades Inmo- vilizado

Como hemos mantenido desde el inicio del presente trabajo, vamos a analizar la eficiencia del Sistema Portuario Español basándonos en el análisis DEA original y algunas de sus extensiones. A continuación, detallamos el diseño, aplicación y resultados obtenidos a través de las distintas metodologías definidas.

#### 2.2.1. Diseño del análisis

En este epígrafe vamos a abordar el análisis de eficiencia del Sistema Portuario Español (SPE) en su totalidad, a través de la metodología DEA descrita anteriormente. En concreto, el conjunto de puertos de interés general que integran las 28 Autoridades Portuarias van a constituir las DMUs o unidades objeto del estudio.

A cada Autoridad Portuaria se le atribuye la gestión de uno o varios puertos de interés general, cuyos recursos y patrimonios gestionará y rentabilizará en condiciones óptimas de eficacia, economía, productividad y seguridad.

Los puertos ofrecen innumerables servicios relacionados tanto con operaciones marítimas como con el transporte terrestre (gestión del dominio público portuario y de las señales marítimas, arrastre y amarraje, carga y descarga, almacenamiento, etc.). La eficacia, la mayor

o menor velocidad y la seguridad con la que prestan estos servicios debe quedar reflejada al medir la eficiencia de cada puerto.

A la hora de definir las variables de nuestro estudio, los inputs y outputs a analizar, debemos tener en consideración y reflejar cuáles son los objetivos finales que persiguen los puertos nacionales. Así por ejemplo, si el objetivo del puerto fuera maximizar el beneficio, puesto que los ingresos vienen limitados por un sistema tarifario centralizado, deberíamos prestar especial atención a los gastos salariales y otros costes controlables, considerándolos como inputs del problema. En cambio, si el objetivo del puerto fuera incrementar el empleo, la información salarial sería la variable a considerar como output. Siguiendo a Cullinane, Song, Ji y Wang (2004), asumimos que el principal objetivo de un puerto es conseguir el máximo output posible minimizando el uso de sus inputs, aunque en algunas ocasiones no sea coherente con el de maximización de los beneficios de la actividad portuaria.

Cada puerto tiene una infraestructura específica y proporciona servicios muy variados en un ambiente cada vez más competitivo. La competitividad creciente entre los puertos ha derivado en su especialización, distinguiéndose<sup>8</sup> puertos tradicionalmente graneleros (sólidos y líquidos) y puertos mixtos (con algún tipo de granel y mercancía general, mayoritariamente). En nuestra opinión, los tráficos portuarios son variables indicativas de la relevancia y eficiencia de un puerto, por lo que hemos considerado como output de nuestro análisis los diferentes tipos de tráfico (en miles de toneladas) distinguiendo entre: graneles sólidos (GS), graneles líquidos (GL) o mercancía general (MG).

En cuanto al *input*, hemos escogido el *inmovilizado total neto* (en miles de euros) como variable representativa de la estructura de los puertos y clave en la importancia relativa de los mismos.

Inicialmente, consideramos que el inmovilizado neto total junto con variables indicativas de la infraestructura propia de cada puer(8) Remitimos al lector al capítulo primero en el que se analiza la estructura del SPE, teniendo en cuenta los tráficos de cada uno de los puertos que lo conforman. to (metros lineales de atraque, número de grúas y otros medios mecánicos, metros de calado, área de superficie, etc.) así como el personal disponible en cada puerto, eran variables relevantes en el análisis y debían ser consideradas como inputs del mismo. No obstante, por un lado, la medición de estas variables por parte de todas las Autoridades Portuarias no es homogénea<sup>9</sup>, lo que podría llevar a errores en su medida; y por otro lado, un análisis de la correlación entre el inmovilizado total de cada puerto y otros tipos de inputs como los metros lineales de atraque, el número de grúas, o área de la superficie (ver Bonilla et al. 2004), corroboró la existencia de un alto nivel de correlación entre las variables consideradas.

La consideración del inmovilizado como input imprescindible en nuestro estudio también viene avalada por numerosas investigaciones en el área de la eficiencia portuaria, tanto a nivel nacional como internacional. Así, los trabajos de Barros y Athanassiou (2004); Turner et al. (2004); Cullinane et al. (2005a, 2005b y 2006); o Wang y Cullinane (2006), entre otros, emplean la variable del inmovilizado portuario como único input del análisis de la eficiencia relativa de los puertos analizados.

En consecuencia, y por las razones expuestas, estimamos que la consideración de una sola variable (el equipo total disponible en cada puerto) como input de estudio no disminuye la exactitud del análisis<sup>10</sup>.

Definidos los outputs e input del estudio, hemos procedido a construir un modelo DEA que nos permita medir la eficiencia relativa de los distintos puertos pertenecientes al SPE para los años comprendidos entre 1994 y el 2008.

Para el estudio de la eficiencia de los 28 puertos del SPE vamos a emplear la metodología DEA analizada en los epígrafes anteriores, considerando tanto rendimientos constantes a escala (modelo CCR) como rendimientos variables a escala (modelo

(9) Así, por ejemplo, hay AAPP que miden la longitud en total sin especificar, otras por muelles o líneas de atraque, otras por dársenas comerciales o pesqueras... Algunas AAPP distinguen entre superficie destinada a zona de atracamiento, zona de tránsito y zona de almacenamiento; en cambio otras no diferencian o distinguen entre áreas logísticas e industriales, por ejemplo.

(10) A este respecto, señalamos que la conocida como "regla de Cooper" (Charnes y Cooper, 1990) establece que: número de DMUs ≥ 3 (input + outputs). Esto avala la selección de un número pequeño de variables como inputs/outputs dada la rigidez del número de unidades que componen la muestra de nuestro análisis. Este hecho se agrava más si tenemos en cuenta que cuando analicemos la eficiencia por grupos homogéneos de puertos, el número de unidades será todavía menor.

BCC). Como ambos problemas se pueden desarrollar con modelos DEA de orientación input y output hemos optado por los primeros. No obstante, esta decisión es trivial puesto que las conclusiones a las que llegaríamos con ambas metodologías son las mismas, como hemos expuesto anteriormente.

Para la resolución de los problemas derivados de la aplicación de los modelos DEA es posible recurrir a dos tipos de procedimientos: por un lado, es posible emplear optimizadores específicos para este tipo de problemas y, por otro lado, dichos problemas se pueden resolver mediante algoritmos de propósito general.

Los defensores de los primeros métodos se apoyan en la comodidad que supone trabajar con programas ya preparados para medir la eficiencia, y por ello accesibles a todo tipo de investigadores, aún sin conocimientos matemáticos sobre el problema. En nuestra opinión, los algoritmos de tipo general presentan en estos momentos más ventajas que inconvenientes. En primer lugar, la facilidad de manejo del software específico puede convertirse en un problema al no ser posible la modificación de las características internas del programa, como por ejemplo, el cambio de los rendimientos constantes por rendimientos crecientes, etc. Si bien algunos programas específicos incorporan algunas opciones, la mayoría de ellos no permiten trabajar con variables enteras o no lineales (MIP o NLP), así como incorporar elementos estocásticos a los modelos (como, por ejemplo, usar Chance constraint Programming en este tipo de problemas<sup>11</sup>).

Por todo ello, para la resolución de los problemas derivados de nuestro análisis hemos decidido el uso conjunto de un software de propósito general como el GAMS, y la construcción de nuestros propios modelos, tanto primal como dual, así como el uso de otros programas como el DEAP de T. Coello o el DEA- Solver de Cooper et al.

(11) Una amplia relación de referencias bibliográficas, así como explicaciones sobre el uso de software general se puede encontrar en: Olesen y Petersen (1996).

A continuación presentamos los resultados del análisis descrito para la totalidad de los puertos que integran el actual Sistema Portuario Español.

# 2.2.2. Resultados con los modelos CCR y BCC

En este epígrafe presentamos los resultados obtenidos con la aplicación del modelo CCR (suponiendo rendimientos constantes a escala –CRS- para el conjunto de puertos del SPE) y el modelo BCC (que supone que los puertos presentan rendimientos variables a escala –VRS- en su actividad) según las ecuaciones [2.6] y [2.8], anteriormente expuestas.

Cabe señalar que, aunque ambos modelos proporcionan resultados similares en el estudio de la eficiencia, en nuestra opinión parece más razonable la orientación CRS para el análisis de la eficiencia de los diferentes puertos del sistema. Aunque es cierto que los tamaños pueden influir en el comportamiento de cada uno de los puertos objeto de estudio, el análisis CCR (que presupone rendimientos constantes a escala o CRS) discrimina mejor el nivel de eficiencia de las unidades sujetas a análisis.

La resolución de cada uno de estos problemas lineales para todos los puertos nos proporciona un conjunto de índice de eficiencia (o scores) con valores comprendidos entre 0 y 1. Para poder considerar un puerto como completamente eficiente el valor del índice debe ser uno y además, las variables de holgura de las restricciones deben ser nulas.

En las *Tablas* 2.4 y 2.5 recogemos los diferentes índices de eficiencia obtenidos con la resolución de los modelos CCR y BCC, respectivamente, para el conjunto de puertos analizados y a lo largo del horizonte temporal contemplado. Esta misma información es representada gráficamente en los *Gráficos* 2.1 (modelo CCR) y 2.2 (modelo BCC)<sup>12</sup>.

(12) Para mayor claridad de los resultados, los gráficos recogen únicamente los resultados correspondientes a los ejercicios 1994, 1998, 2000, 2004 y 2008.

Tabla 2.4. Modelo CCR. Índices de eficiencia del total del SPE

DMU	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
	Ä,	ਜੰ	ਜੰ	ਜੰ	ਜੰ	ਜੰ	7	7	7	×	×	×	×	×	×	Σ	Δ
A Coruña	0,59	0,74	0,68	0,67	0,71	0,68	0,67	0,54	0,60	0,73	0,82	0,80	0,76	0,60	0,39	0,67	0,11
Alicante	0,30	0,14	0,14	0,13	0,15	0,19	0,23	0,24	0,22	0,26	0,24	0,24	0,26	0,27	0,21	0,21	0,05
Almería	1,00	1,00	0,98	0,68	0,87	0,89	0,96	0,84	0,72	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,74	0,91	0,11
Avilés	0,44	0,44	0,42	0,41	0,41	0,33	0,42	0,37	0,44	0,57	0,60	0,55	0,73	0,72	0,60	0,50	0,12
B. Algeciras	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
B. Cádiz	0,26	0,14	0,14	0,13	0,15	0,15	0,19	0,19	0,19	0,22	0,24	0,29	0,35	0,48	0,30	0,23	0,10
Baleares	0,53	0,29	0,44	0,47	0,32	0,37	0,40	0,35	0,33	0,34	0,34	0,39	0,46	0,48	0,48	0,40	0,07
Barcelona	0,36	0,24	0,25	0,28	0,28	0,31	0,32	0,27	0,26	0,26	0,26	0,27	0,30	0,31	0,32	0,29	0,03
Bilbao	0,31	0,28	0,25	0,26	0,31	0,29	0,28	0,25	0,25	0,31	0,36	0,35	0,45	0,51	0,50	0,33	0,09
Cartagena	0,52	0,73	0,64	0,64	0,81	0,82	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,17
Castellón	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	0,77	0,71	0,71	0,72	0,77	0,72	0,71	0,87	0,14
Ceuta	0,90	0,71	0,35	0,56	0,62	0,32	0,24	0,14	0,14	0,11	0,10	0,11	0,17	0,20	0,22	0,33	0,25
Ferrol - S. Cibrao	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,80	0,97	0,96	1,00	0,97	0,06
Gijon	0,32	0,40	0,40	0,39	0,41	0,43	0,62	0,62	0,69	0,81	0,93	0,94	0,82	0,62	0,43	0,59	0,21
Huelva	0,51	0,47	0,40	0,40	0,40	0,42	0,44	0,42	0,41	0,50	0,50	0,56	0,64	0,61	0,58	0,48	0,08
Las Palmas	0,31	0,16	0,16	0,18	0,20	0,24	0,22	0,21	0,21	0,24	0,25	0,28	0,31	0,34	0,35	0,25	0,06
Málaga	o <b>,</b> 67	0,79	0,76	0,81	0,79	o <b>,</b> 67	0,20	0,10	0,13	0,17	0,20	0,33	0,47	0,47	0,37	0,46	0,27
Marín	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,32	0,29	0,31	0,32	0,32	0,31	0,38	0,42	0,43	0,37	0,31	0,07
Melilla	0,55	0,15	0,12	0,12	0,13	0,10	0,10	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,13	0,12
Motril	0,55	0,59	0,55	0,49	0,66	0,61	0,54	0,49	0,52	0,58	0,60	0,52	0,56	0,43	0,37	0,54	0,07
Pasajes	0,26	0,22	0,20	0,23	0,23	0,27	0,29	0,30	0,36	0,50	0,54	0,55	o <b>,</b> 67	0,66	0,66	0,39	0,18
S.C.Tenerife	0,31	0,27	0,27	0,30	0,32	0,33	0,32	0,28	0,30	0,33	0,34	0,34	0,38	0,42	0,36	0,32	0,04
Santander	0,21	0,11	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14	0,15	0,21	0,23	0,28	0,29	0,33	0,30	0,19	0,08
Sevilla	0,17	0,08	0,10	0,10	0,10	0,11	0,13	0,15	0,15	0,20	0,18	0,20	0,23	0,20	0,19	0,15	0,05
Tarragona	0,64	0,97	1,00	1,00	0,81	0,72	0,69	0,62	0,71	0,85	0,90	0,83	0,92	1,00	0,92	0,84	0,14
Valencia	0,43	0,35	0,33	0,35	0,38	0,43	0,44	0,45	0,49	0,50	0,51	0,54	0,54	0,58	0,64	0,46	0,09
Vigo	0,37	0,25	0,24	0,24	0,24	0,26	0,27	0,25	0,24	0,24	0,22	0,23	0,27	0,30	0,29	0,26	0,04
Vilagarcía	0,15	0,13	0,15	0,16	0,14	0,17	0,19	0,20	0,25	0,31	0,31	0,30	0,32	0,29	0,25	0,22	0,07

Tabla 2.5. Modelo BCC. Índices de eficiencia del total del SPE

DMU	1994	1995	9661	1997	866	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
	П	н	П	П	П	н	\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	α	И	N		\ \ \			7	_	-
A Coruña	0,72	0,75	0,69	0,67	0,77	0,77	0,68	0,54	0,63	0,77	0,84	0,85	0,80	0,68	0,45	0,71	0,08
Alicante	0,45	0,25	0,24	0,25	0,26	0,32	0,40	0,42	0,39	0,40	0,39	0,39	0,40	0,44	0,42	0,36	0,08
Almería	1,00	1,00	1,00	0,85	0,95	0,95	1,00	0,93	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,96	0,05
Avilés	0,52	0,63	0,61	0,63	0,62	0,56	0,65	0,65	0,70	0,75	0,75	0,70	0,85	0,87	0,84	0,69	0,10
B. Algeciras	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
B. Cádiz	0,31	0,19	0,20	0,20	0,21	0,23	0,27	0,28	0,28	0,30	0,32	0,37	0,43	0,53	0,44	0,31	0,10
Baleares	0,58	0,33	0,45	0,48	0,38	0,43	0,46	0,42	0,39	0,39	0,40	0,45	0,53	0,55	0,57	0,45	0,07
Barcelona	0,43	0,31	0,32	0,35	0,30	0,31	0,32	0,27	0,27	0,26	0,26	0,27	0,30	0,31	0,32	0,31	0,04
Bilbao	1,00	0,30	0,25	0,26	0,34	0,35	0,30	0,26	0,25	0,31	0,37	0,35	1,00	1,00	1,00	0,49	0,30
Cartagena	0,59	0,74	0,64	0,64	0,88	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,16
Castellón	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0,79	0,77	0,80	0,83	0,83	0,79	0,91	0,10
Ceuta	1,00	0,83	0,56	0,72	0,74	0,53	0,50	0,52	0,49	0,44	0,48	0,50	0,57	0,64	0,71	0,62	0,16
Ferrol - S. Cibrao	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	o <b>,</b> 88	0,82	1,00	1,00	1,00	0,98	0,06
Gijon																	
dijon	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Huelva	0,66	0,48	0,40	0,40	1,00 0,46	1,00 0,53	1,00 0,48	1,00 0,46	1,00 0,44	1,00 0,51	1,00 0,51	1,00 0,57	1,00 0,66	1,00 0,63	1,00 0,58	1,00 0,52	0,00
•		•	•	•		•	-	•	•	•	•	•	•	-			
Huelva	0,66	0,48	0,40	0,40	0,46	0,53	0,48	0,46	0,44	0,51	0,51	0,57	0,66	0,63	0,58	0,52	0,09
Huelva Las Palmas	0,66	0,48	0,40	0,40	0,46	0,53	0,48	0,46	0,44	0,51	0,51	0,57	0,66	0,63	0,58	0,52	0,09
Huelva Las Palmas Málaga	0,66 0,33 0,72	0,48 0,20 0,79	0,40 0,20 0,76	0,40 0,21 0,81	0,46 0,23 0,81	0,53 0,27 0,68	0,48 0,25 0,29	0,46 0,24 0,25	0,44 0,24 0,26	0,51 0,27 0,29	0,51 0,28 0,33	0,57 0,31 0,47	0,66 0,34 0,61	o,63 o,38 o,65	o,58 o,39 o,57	0,52 0,28 0,55	o,09 o,06 o,23
Huelva  Las Palmas  Málaga  Marín	0,66 0,33 0,72 0,52	0,48 0,20 0,79 0,63	0,40 0,20 0,76 0,63	0,40 0,21 0,81 0,63	0,46 0,23 0,81 0,61	0,53 0,27 0,68 0,76	0,48 0,25 0,29 0,77	0,46 0,24 0,25 0,78	0,44 0,24 0,26 0,74	0,51 0,27 0,29 0,73	0,51 0,28 0,33 0,76	0,57 0,31 0,47 0,85	0,66 0,34 0,61 0,95	o,63 o,38 o,65 o,99	0,58 0,39 0,57 0,95	0,52 0,28 0,55 0,75	0,09 0,06 0,23 0,13
Huelva  Las Palmas  Málaga  Marín  Melilla	0,66 0,33 0,72 0,52 1,00	0,48 0,20 0,79 0,63 0,59	0,40 0,20 0,76 0,63 0,53	0,40 0,21 0,81 0,63 0,52	0,46 0,23 0,81 0,61 0,49	0,53 0,27 0,68 0,76 0,46	0,48 0,25 0,29 0,77 0,46	0,46 0,24 0,25 0,78 0,47	0,44 0,24 0,26 0,74 0,47	0,51 0,27 0,29 0,73 0,47	0,51 0,28 0,33 0,76 0,53	0,57 0,31 0,47 0,85 0,52	0,66 0,34 0,61 0,95 0,52	0,63 0,38 0,65 0,99 0,50	0,58 0,39 0,57 0,95 0,50	0,52 0,28 0,55 0,75 0,53	0,09 0,06 0,23 0,13 0,14
Huelva Las Palmas Málaga Marín Melilla Motril	0,66 0,33 0,72 0,52 1,00	0,48 0,20 0,79 0,63 0,59	0,40 0,20 0,76 0,63 0,53	0,40 0,21 0,81 0,63 0,52 1,00	0,46 0,23 0,81 0,61 0,49	0,53 0,27 0,68 0,76 0,46 1,00	0,48 0,25 0,29 0,77 0,46 1,00	0,46 0,24 0,25 0,78 0,47 1,00	0,44 0,24 0,26 0,74 0,47	0,51 0,27 0,29 0,73 0,47 1,00	0,51 0,28 0,33 0,76 0,53 1,00	0,57 0,31 0,47 0,85 0,52 0,99	0,66 0,34 0,61 0,95 0,52 1,00	o,63 o,38 o,65 o,99 o,50	0,58 0,39 0,57 0,95 0,50 0,96	0,52 0,28 0,55 0,75 0,53 0,99	0,09 0,06 0,23 0,13 0,14
Huelva Las Palmas Málaga Marín Melilla Motril Pasajes	0,66 0,33 0,72 0,52 1,00 1,00	0,48 0,20 0,79 0,63 0,59 1,00 0,30	0,40 0,20 0,76 0,63 0,53 1,00	0,40 0,21 0,81 0,63 0,52 1,00	0,46 0,23 0,81 0,61 0,49 1,00	0,53 0,27 0,68 0,76 0,46 1,00	0,48 0,25 0,29 0,77 0,46 1,00	0,46 0,24 0,25 0,78 0,47 1,00	0,44 0,24 0,26 0,74 0,47 1,00	0,51 0,27 0,29 0,73 0,47 1,00 0,58	0,51 0,28 0,33 0,76 0,53 1,00 0,63	0,57 0,31 0,47 0,85 0,52 0,99	0,66 0,34 0,61 0,95 0,52 1,00 0,80	o,63 o,38 o,65 o,99 o,50 o,97 o,85	0,58 0,39 0,57 0,95 0,50 0,96 0,95	0,52 0,28 0,55 0,75 0,53 0,99	0,09 0,06 0,23 0,13 0,14 0,01
Huelva Las Palmas Málaga Marín Melilla Motril Pasajes S.C. Tenerife	0,66 0,33 0,72 0,52 1,00 1,00 0,31	0,48 0,20 0,79 0,63 0,59 1,00 0,30 0,28 0,14	0,40 0,20 0,76 0,63 0,53 1,00 0,29 0,28 0,15	0,40 0,21 0,81 0,63 0,52 1,00 0,34 0,31	0,46 0,23 0,81 0,61 0,49 1,00 0,32 0,33 0,16	0,53 0,27 0,68 0,76 0,46 1,00 0,37 0,34 0,17	0,48 0,25 0,29 0,77 0,46 1,00 0,39 0,33 0,18	0,46 0,24 0,25 0,78 0,47 1,00 0,42 0,30 0,18	0,44 0,24 0,26 0,74 0,47 1,00 0,47 0,33 0,19	0,51 0,27 0,29 0,73 0,47 1,00 0,58 0,36 0,23	0,51 0,28 0,33 0,76 0,53 1,00 0,63 0,37 0,25	0,57 0,31 0,47 0,85 0,52 0,99 0,67 0,39	0,66 0,34 0,61 0,95 0,52 1,00 0,80 0,44	o,63 o,38 o,65 o,99 o,50 o,97 o,85	0,58 0,39 0,57 0,95 0,50 0,96 0,95 0,43	0,52 0,28 0,55 0,75 0,53 0,99 0,51 0,35	0,09 0,06 0,23 0,13 0,14 0,01 0,19
Huelva Las Palmas Málaga Marín Melilla Motril Pasajes S.C. Tenerife Santander	0,66 0,33 0,72 0,52 1,00 1,00 0,31 0,33	0,48 0,20 0,79 0,63 0,59 1,00 0,30 0,28 0,14	0,40 0,20 0,76 0,63 0,53 1,00 0,29 0,28 0,15	0,40 0,21 0,81 0,63 0,52 1,00 0,34 0,31	0,46 0,23 0,81 0,61 0,49 1,00 0,32 0,33 0,16 0,14	0,53 0,27 0,68 0,76 0,46 1,00 0,37 0,34 0,17	0,48 0,25 0,29 0,77 0,46 1,00 0,39 0,33 0,18	0,46 0,24 0,25 0,78 0,47 1,00 0,42 0,30 0,18	0,44 0,24 0,26 0,74 0,47 1,00 0,47 0,33 0,19	0,51 0,27 0,29 0,73 0,47 1,00 0,58 0,36 0,23	0,51 0,28 0,33 0,76 0,53 1,00 0,63 0,37 0,25	0,57 0,31 0,47 0,85 0,52 0,99 0,67 0,39 0,29	0,66 0,34 0,61 0,95 0,52 1,00 0,80 0,44 0,32	o,63 o,38 o,65 o,99 o,50 o,97 o,85 o,47	0,58 0,39 0,57 0,95 0,50 0,96 0,95 0,43 0,39 0,27	0,52 0,28 0,55 0,75 0,53 0,99 0,51 0,35 0,23	0,09 0,06 0,23 0,13 0,14 0,01 0,19 0,05 0,07
Huelva Las Palmas Málaga Marín Melilla Motril Pasajes S.C. Tenerife Santander Sevilla	0,66 0,33 0,72 0,52 1,00 1,00 0,31 0,33 0,25 0,21	0,48 0,20 0,79 0,63 0,59 1,00 0,30 0,28 0,14	0,40 0,20 0,76 0,63 0,53 1,00 0,29 0,28 0,15	0,40 0,21 0,81 0,63 0,52 1,00 0,34 0,31 0,15	0,46 0,23 0,81 0,61 0,49 1,00 0,32 0,33 0,16 0,14	0,53 0,27 0,68 0,76 0,46 1,00 0,37 0,34 0,17	0,48 0,25 0,29 0,77 0,46 1,00 0,39 0,33 0,18 0,18	0,46 0,24 0,25 0,78 0,47 1,00 0,42 0,30 0,18	0,44 0,24 0,26 0,74 0,47 1,00 0,47 0,33 0,19 0,21 1,00	0,51 0,27 0,29 0,73 0,47 1,00 0,58 0,36 0,23	0,51 0,28 0,33 0,76 0,53 1,00 0,63 0,37 0,25	0,57 0,31 0,47 0,85 0,52 0,99 0,67 0,39 0,29	0,66 0,34 0,61 0,95 0,52 1,00 0,80 0,44 0,32	o,63 o,38 o,65 o,99 o,50 o,97 o,85 o,47 o,37	0,58 0,39 0,57 0,95 0,50 0,96 0,95 0,43 0,39 0,27	0,52 0,28 0,55 0,75 0,53 0,99 0,51 0,35 0,23	0,09 0,06 0,23 0,13 0,14 0,01 0,19 0,05 0,07
Huelva  Las Palmas  Málaga  Marín  Melilla  Motril  Pasajes  S.C. Tenerife  Santander  Sevilla  Tarragona	0,66 0,33 0,72 0,52 1,00 1,00 0,31 0,33 0,25 0,21 1,00	0,48 0,20 0,79 0,63 0,59 1,00 0,30 0,28 0,14 0,12 1,00	0,40 0,20 0,76 0,63 0,53 1,00 0,29 0,28 0,15 0,13	0,40 0,21 0,81 0,63 0,52 1,00 0,34 0,15 0,15 0,14 1,00	0,46 0,23 0,81 0,61 0,49 1,00 0,32 0,33 0,16 0,14 1,00	0,53 0,27 0,68 0,76 0,46 1,00 0,37 0,34 0,17 0,16 1,00	0,48 0,25 0,29 0,77 0,46 1,00 0,39 0,33 0,18 0,18 1,00 0,46	0,46 0,24 0,25 0,78 0,47 1,00 0,42 0,30 0,18 0,20 1,00 0,48	0,44 0,24 0,26 0,74 0,47 1,00 0,47 0,33 0,19 0,21 1,00	0,51 0,27 0,29 0,73 0,47 1,00 0,58 0,36 0,23 0,24 1,00	0,51 0,28 0,33 0,76 0,53 1,00 0,63 0,37 0,25 0,25 1,00	0,57 0,31 0,47 0,85 0,52 0,99 0,67 0,39 0,29 0,27 1,00	0,66 0,34 0,61 0,95 0,52 1,00 0,80 0,44 0,32 0,30	0,63 0,38 0,65 0,99 0,50 0,97 0,85 0,47 0,37 0,28	0,58 0,39 0,57 0,95 0,50 0,96 0,95 0,43 0,39 0,27 1,00	0,52 0,28 0,55 0,75 0,53 0,99 0,51 0,35 0,23 0,21 1,00	0,09 0,06 0,23 0,13 0,14 0,01 0,09 0,05 0,07 0,06

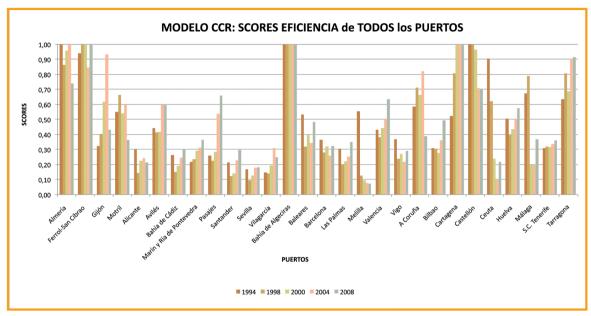


Gráfico 2.1. Modelo CCR: scores eficiencia de todos los puertos

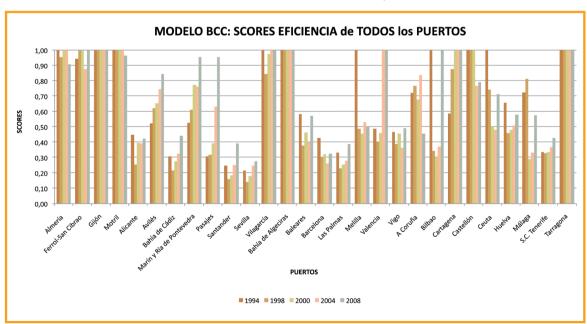


Gráfico 2.2. Modelo BCC: scores eficiencia de todos los puertos

Con el fin de interpretar más fácilmente los resultados obtenidos, en la *Tabla* 2.6 presentamos una ordenación orientativa de los distintos puertos analizados en función del nivel medio de los índices o *scores* de eficiencia obtenidos en el período analizado, tanto para el modelo CCR como el BCC. En ella hemos jerarquizado los distintos puertos según el *score* medio de eficiencia del período analizado y hemos diferenciado 3 niveles: eficiencia alta (puertos sombreados de naranja oscuro) para índices de eficiencia superiores al 0,7; eficiencia media (puertos sombreados de naranja claro) para niveles mayores a 0,3 y menores a 0,7; y eficiencia baja (sin sombrear) si el nivel medio de eficiencia no supera el 0,3.

Tabla 2.6. Ordenación orientativa de todos los puertos según su eficiencia media (Mod. CCR y BCC)

	Modelo (	CR			Modelo	всс	
	DMU	MEDIA	DESV		DMU	MEDIA	DESV
1	Bahía de Algeciras	1,00	0,00	1	Bahía de Algeciras	1,00	0,00
2	Ferrol-San Cibrao	0,97	0,06	1	Gijón	1,00	0,00
3	Almería	0,91	0,11	1	Tarragona	1,00	0,00
4	Cartagena	0,88	0,17	4	Motril	0,99	0,01
5	Castellón	0,87	0,14	5	Ferrol-San Cibrao	0,98	0,06
6	Tarragona	0,84	0,14	6	Vilagarcía	0,97	0,05
7	A Coruña	0,67	0,11	7	Almería	0,96	0,05
8	Gijón	0,59	0,21	8	Castellón	0,91	0,10
9	Motril	0,54	0,07	9	Cartagena	0,90	0,16
10	Avilés	0,50	0,12	10	Marín	0,75	0,13
11	Huelva	0,48	0,08	11	Valencia	0,73	0,30
12	Valencia	0,46	0,09	12	A Coruña	0,71	0,08
13	Málaga	0,46	0,27	13	Avilés	0,69	0,10
14	Baleares	0,40	0,07	14	Ceuta	0,62	0,16
15	Pasajes	0,39	0,18	15	Málaga	0,55	0,23
16	Bilbao	0,33	0,09	16	Melilla	0,53	0,14

					BCC	
DMU	MEDIA	DESV		DMU	MEDIA	DESV
Ceuta	0,33	0,25	17	Huelva	0,52	0,09
S.C. Tenerife	0,32	0,04	18	Pasajes	0,51	0,19
Marín	0,31	0,07	19	Bilbao	0,49	0,30
Barcelona	0,29	0,03	20	Baleares	0,45	0,07
Vigo	0,26	0,04	21	Vigo	0,42	0,04
Las Palmas	0,25	0,06	22	Alicante	0,36	0,08
Bahía de Cádiz	0,23	0,10	23	S.C. Tenerife	0,35	0,05
Vilagarcía	0,22	0,07	24	Barcelona	0,31	0,04
Alicante	0,21	0,05	25	Bahía de Cádiz	0,31	0,10
Santander	0,19	0,08	26	Las Palmas	0,28	0,06
Sevilla	0,15	0,05	27	Santander	0,23	0,07
Melilla	0,13	0,12	28	Sevilla	0,21	0,06
	S.C. Tenerife  Marín  Barcelona  Vigo  Las Palmas  Bahía de Cádiz  Vilagarcía  Alicante  Santander  Sevilla	Ceuta       0,33         S.C. Tenerife       0,32         Marín       0,31         Barcelona       0,29         Vigo       0,26         Las Palmas       0,25         Bahía de Cádiz       0,23         Vilagarcía       0,22         Alicante       0,21         Santander       0,19         Sevilla       0,15	Ceuta       0,33       0,25         S.C. Tenerife       0,32       0,04         Marín       0,31       0,07         Barcelona       0,29       0,03         Vigo       0,26       0,04         Las Palmas       0,25       0,06         Bahía de Cádiz       0,23       0,10         Vilagarcía       0,22       0,07         Alicante       0,21       0,05         Santander       0,19       0,08         Sevilla       0,15       0,05	Ceuta       0,33       0,25       17         S.C. Tenerife       0,32       0,04       18         Marín       0,31       0,07       19         Barcelona       0,29       0,03       20         Vigo       0,26       0,04       21         Las Palmas       0,25       0,06       22         Bahía de Cádiz       0,23       0,10       23         Vilagarcía       0,22       0,07       24         Alicante       0,21       0,05       25         Santander       0,19       0,08       26         Sevilla       0,15       0,05       27	Ceuta         0,33         0,25         17         Huelva           S.C. Tenerife         0,32         0,04         18         Pasajes           Marín         0,31         0,07         19         Bilbao           Barcelona         0,29         0,03         20         Baleares           Vigo         0,26         0,04         21         Vigo           Las Palmas         0,25         0,06         22         Alicante           Bahía de Cádiz         0,23         0,10         23         S.C. Tenerife           Vilagarcía         0,22         0,07         24         Barcelona           Alicante         0,21         0,05         25         Bahía de Cádiz           Santander         0,19         0,08         26         Las Palmas           Sevilla         0,15         0,05         27         Santander	Ceuta         0,33         0,25         17         Huelva         0,52           S.C. Tenerife         0,32         0,04         18         Pasajes         0,51           Marín         0,31         0,07         19         Bilbao         0,49           Barcelona         0,29         0,03         20         Baleares         0,45           Vigo         0,26         0,04         21         Vigo         0,42           Las Palmas         0,25         0,06         22         Alicante         0,36           Bahía de Cádiz         0,23         0,10         23         S.C. Tenerife         0,35           Vilagarcía         0,22         0,07         24         Barcelona         0,31           Alicante         0,21         0,05         25         Bahía de Cádiz         0,31           Santander         0,19         0,08         26         Las Palmas         0,28           Sevilla         0,15         0,05         27         Santander         0,23

Del análisis conjunto de los gráficos y tablas anteriores se pueden derivar una serie de **conclusiones**:

**Primero.** La Autoridad Portuaria de Bahía de Algeciras es el único puerto que ha permanecido siempre en los niveles máximos de eficiencia, con un índice de eficiencia o "score" medio igual a la unidad y una desviación nula. Esto nos indica que Bahía de Algeciras, por su propia idiosincrasia, presenta una gran eficiencia en su actividad y que tal vez sea una unidad influyente a la hora de determinar el nivel de eficiencia relativo del resto de puertos, como analizaremos en el siguiente epígrafe.

**Segundo.** La ordenación obtenida para el conjunto de puertos del SPE no es muy diferente comparando las dos metodologías empleadas: modelo CCR y BCC. Por tanto, el estudio de la eficiencia del conjunto de puertos que conforman el SPE proporciona una ordenación similar de los puertos (de mayor a menor nivel de eficiencia) tanto si suponemos rendimientos constantes a escala (modelo CCR) como si admitimos rendimientos variables (modelo BCC).

**Tercero.** A pesar de lo expuesto en el punto anterior, cabe añadir que la mayoría de puertos presentan índices de eficiencia más altos si suponemos rendimientos variables a escala (VRS), en el modelo BCC. Así, el grupo de puertos más eficientes (con un índice de eficiencia igual o superior a 0,7) se amplia notablemente (de 6 unidades a 12) al suponer VRS. Esta hipótesis, que se acerca más a la realidad de la actividad portuaria, nos corrobora que la eficiencia en conjunto del SPE tiene niveles muy aceptables. En consecuencia, el uso exclusivo del modelo CCR en el estudio de la eficiencia global de SPE, aunque discrimina mejor la eficiencia de las unidades analizadas, podría llevar a infravalorar la eficiencia global de los puertos que lo componen.

# 2.2.3. Determinación de DMUs influyentes

En este epígrafe pretendemos detectar si existen DMUs o puertos "influyentes", definidos como unidades que determinan de una forma sustancial los resultados del análisis.

La determinación y exclusión de las unidades influyentes en el análisis de la eficiencia del SPE es fundamental puesto que aquellas DMUs que resulten ser puntos extremos sobre la frontera eficiente pueden llevar a subestimar la medida de la eficiencia de las restantes unidades que componen la muestra.

Como expusimos anteriormente, para la detección de las unidades influyentes se ha seguido el siguiente proceso (Bonilla et al. 2002): en primer lugar, se analiza la eficiencia de las distintas unidades según los métodos descritos, tal y como se ha efectuado en el epígrafe anterior. En segundo lugar, se eliminan las unidades que han resultado calificadas como completamente eficientes (con un coeficiente de eficiencia igual a la unidad) tras el análisis. En tercer lugar, se evalúa de nuevo la eficiencia del grupo eliminando la unidad influyente. Por último, en cuarto lugar se calcula la variación en los coeficientes de eficiencia con la muestra reducida respecto a los originales (incluida la posible unidad influyente), para cada puerto. Un cambio significativo en los resultados obtenidos corroboraría que se trata de una unidad influyente.

Siguiendo este proceso, hemos procedido a comprobar si, tal y como intuíamos, Bahía de Algeciras es realmente una unidad influyente para el resto de puertos. Conocida la eficiencia de la totalidad de puertos del SPE, procedimos a evaluar la eficiencia del conjunto de puertos que integran el SPE, a excepción de Bahía de Algeciras, empleando tanto el modelo CCR como el BCC.

Los niveles medios de eficiencia de cada DMU considerando el SPE en su totalidad (CCR total y BCC total), los scores medios obtenidos excluyendo el puerto de Bahía de Algeciras (CCR sin BA y BCC sin BA)<sup>13</sup>, así como las variaciones (incrementos) en dichos niveles de eficiencia, quedan reflejados en la *Tabla* 2.7.

Observando las variaciones en los niveles medios de eficiencia al excluir el puerto de Bahía de Algeciras de la muestra analizada, podemos afirmar que realmente se produce un cambio importante en la medida de la eficiencia del resto de puertos que conforman el SPE (*Tabla* 2.7). En concreto, los *scores* obtenidos con el modelo CCR varían en total un 54%, en términos medios, y un 38% si aplicamos el modelo BCC.

Estos datos corroboran el hecho de que Algeciras es una unidad influyente, que no presenta el mismo comportamiento que el resto de los puertos analizados. El puerto de Bahía de Algeciras consigue gestionar un gran volumen de tráficos, mayoritariamente graneles líquidos, y numerosos transbordos dada su posición geográfica, con una infraestructura menor que el resto de puertos del sistema. Esto le proporciona mejores niveles de eficiencia respecto a los demás puertos en cada ejercicio y condiciona la eficiencia relativa del resto de unidades.

(13) En el siguiente epígrafe proporcionamos un mayor detalle de los niveles de eficiencia obtenidos al excluir la Autoridad Portuaria de Bahía de Algeciras, en el estudio de la eficiencia global del SPE.

Tabla 2.7. Variación en la eficiencia media con y sin B. Algeciras (Mod. CCR y BCC)

DMU	CCR total	CCR sin BA	Variación	BCC total	BCC sin BA	Variación
A Coruña	0,6655	0,6825	3 %	0,7076	0,7248	2 %
Alicante	0,2134	0,3477	63 %	0,3608	0,4674	30 %
Almería	0,9101	0,9270	2 %	0,9631	0,9724	1%
Avilés	0,4965	0,7623	54 %	0,6894	0,8893	29 %
Bahía de Algeciras	1			1		
Bahía de Cádiz	0,2291	0,3969	73 %	0,3056	0,4596	50 %
Baleares	0,4003	0,8406	110 %	0,4542	0,8863	95%
Barcelona	0,2864	0,7029	145%	0,3068	1	226 %
Bilbao	0,3297	0,5422	64 %	0,4891	0,9190	88 %
Cartagena	0,8771	0,8771	0 %	0,8960	0,8979	o %
Castellón	0,8710	0,9113	5 %	0,9131	0,9463	4 %
Ceuta	0,3268	0,4965	52 %	0,6160	0,7290	18 %
Ferrol-San Cibrao	0,9678	0,9678	o %	0,9760	0,9762	0%
Gijón	0,5887	0,5902	o %	1	1	o %
Huelva	0,4838	0,4854	o %	0,5173	0,5291	2 %
Las Palmas	0,2453	0,6085	148%	0,2751	0,6301	129 %
Málaga	0,4616	0,5300	15 %	0,5532	0,6194	12 %
Marín y Ría de Pontevedra	0,3082	0,5153	67 %	0,7536	0,8941	19 %
Melilla	0,1269	0,3006	137 %	0,5349	0,6219	16 %
Motril	0,5380	0,5615	4 %	0,9948	0,9948	o %
Pasajes	0,3949	0,5856	48 %	0,5132	0,6746	31 %
S.C. Tenerife	0,3240	0,6619	104%	0,3529	0,7209	104%
Santander	0,1909	0,2428	27 %	0,2284	0,2700	18 %
Sevilla	0,1519	0,2222	46 %	0,2066	0,2639	28%

DMU	CCR total	CCR sin BA	Variación	BCC total	BCC sin BA	Variación
Tarragona	0,8381	0,8401	0 %	1	1	0%
Valencia	0,4636	0,9839	112 %	0,7289	1	37 %
Vigo	0,2607	0,5862	125%	0,4245	0,7275	71 %
Vilagarcía	0,2212	0,3307	50 %	0,9710	0,9839	1%
VARIACIÓN TOTAL			54 %			38 %

En el siguiente epígrafe, analizamos con mayor detalle los resultados del estudio de la eficiencia global del SPE excluyendo el puerto de Bahía de Algeciras.

# 2.2.4. Análisis de la eficiencia sin las unidades influyentes

Analizada la existencia de unidades influyentes y corroborado el hecho de que el puerto de Bahía de Algeciras lo es, procedemos a aplicar de nuevo los modelos CCR y BCC al resto de puertos que integran el SPE. De esta forma, podemos comprobar cómo ha variado la eficiencia relativa de algunas unidades si no tomamos el puerto de Bahía de Algeciras como referencia en nuestro estudio.

Tabla 2.8. Modelo CCR sin u. influyentes. Índices de eficiencia del total del SPE

DMU	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
A Coruña	0,59	0,74	o <b>,</b> 68	0,67	0,71	o <b>,</b> 68	0,67	0,54	0,62	0,77	o <b>,</b> 86	0,85	0,79	0,65	0,43	0,68	0,11
Alicante	0,44	0,28	0,29	0,29	0,30	0,33	0,40	0,41	0,36	0,39	0,36	0,34	0,37	0,37	0,28	0,35	0,05
Almería	1,00	1,00	1,00	0,77	0,92	0,91	0,96	0,84	0,74	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,76	0,93	0,10
Avilés	0,72	1,00	0,95	0,89	o <b>,</b> 87	0,58	0,67	0,56	0,61	0,75	0,77	o <b>,</b> 67	0,88	0,84	0,66	0,76	0,14

DMU	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
B. Cádiz	0,46	0,37	0,38	0,35	0,36	0,34	0,37	0,36	0,33	0,36	0,38	0,43	0,49	0,58	0,39	0,40	0,07
Baleares	0,98	0,93	1,00	1,00	0,86	0,90	0,92	0,80	0,68	0,67	0,68	0,74	0,87	0,82	0,74	0,84	0,12
Barcelona	0,68	0,72	0,75	0,79	0,80	0,84	0,84	0,68	0,66	0,64	0,64	0,62	o <b>,</b> 66	0,65	0,57	0,70	0,08
Bilbao	0,44	0,57	0,54	0,50	0,57	0,52	0,52	0,43	0,43	0,51	0,55	0,55	0,65	0,71	0,64	0,54	0,08
Cartagena	0,52	0,73	0,64	0,64	0,81	0,82	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,17
Castellón	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,80	0,77	0,78	0,85	0,81	0,77	0,91	0,10
Ceuta	1,00	1,00	0,49	o <b>,</b> 68	0,79	0,51	0,44	0,34	0,33	0,28	0,27	0,27	0,33	0,36	0,35	0,50	0,25
Ferrol - S. Cibrao	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,80	0,97	0,96	1,00	0,97	0,06
Gijon	0,32	0,40	0,41	0,40	0,41	0,43	0,62	0,62	0,69	0,81	0,93	0,94	0,82	0,62	0,43	0,59	0,21
Huelva	0,51	0,47	0,41	0,40	0,40	0,42	0,45	0,42	0,42	0,50	0,50	0,56	0,64	0,61	0,58	0,49	0,08
Las Palmas	0,59	0,54	0,57	0,57	0,63	0,68	0,59	0,55	0,52	0,60	0,61	0,65	0,71	0,72	0,62	0,61	0,06
Málaga	0,68	0,79	0,76	0,81	0,79	0,67	0,23	0,13	0,15	0,19	0,25	0,49	0,76	0,75	0,51	0,53	0,27
Marín	0,34	0,51	0,58	0,52	0,49	0,65	0,56	0,55	0,49	0,48	0,45	0,51	0,58	0,57	0,45	0,52	0,07
Melilla	1,00	0,46	0,41	0,39	0,37	0,27	0,23	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,15	0,12	0,30	0,22
Motril	0,55	0,60	0,61	0,53	0,69	0,63	0,55	0,49	0,55	0,63	0,63	0,53	0,59	0,45	0,38	0,56	0,08
Pasajes	0,40	0,47	0,46	0,52	0,44	0,47	0,46	0,45	0,51	0,68	0,70	0,71	0,86	0,84	0,83	0,59	0,16
S.C.Tenerife	0,58	0,70	0,73	0,71	0,73	0,71	0,69	0,59	0,61	0,66	0,65	0,65	0,69	0,69	0,54	0,66	0,06
Santander	0,30	0,18	0,21	0,19	0,20	0,20	0,20	0,17	0,18	0,24	0,26	0,31	0,33	0,37	0,33	0,24	0,07
Sevilla	0,24	0,15	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,22	0,22	0,26	0,25	0,27	0,31	0,26	0,23	0,22	0,04
Tarragona	0,64	0,97	1,00	1,00	0,81	0,72	0,69	0,62	0,72	0,87	0,90	0,83	0,92	1,00	0,92	0,84	0,13
Valencia	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,06
Vigo	0,70	0,78	0,79	0,70	0,65	0,64	0,64	0,56	0,49	0,47	0,43	0,43	0,52	0,54	0,46	0,59	0,12
Vilagarcía	0,21	0,26	0,33	0,33	0,30	0,31	0,36	0,32	0,37	0,43	0,39	0,36	0,38	0,32	0,30	0,33	0,05

En las *Tablas* 2.8 y 2.9 recogemos los resultados obtenidos. Así, la *Tabla* 2.8 muestra los índices de eficiencia derivados de la resolución del modelo CCR y la *Tabla* 2.9 muestra los resultados análogos obtenidos con el modelo BCC, para el conjunto de puertos analizados, en el horizonte temporal descrito. Esta misma información se representa gráficamente en los *Gráficos* 2.3 (modelo CCR) y 2.4 (modelo BCC).

Tabla 2.9. Modelo BCC sin u. influyentes. Índices de eficiencia del total del SPE

DMU	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
A Coruña	0,76	0,75	0,69	o <b>,</b> 67	0,77	0,77	o <b>,</b> 68	0,54	0,65	0,81	o <b>,</b> 87	0,89	0,83	0,71	0,48	0,72	0,11
Alicante	0,45	0,35	0,35	0,39	0,39	0,44	0,57	0,59	0,53	0,52	0,50	0,48	0,49	0,50	0,46	0,47	0,07
Almería	1,00	1,00	1,00	0,91	1,00	0,97	1,00	0,93	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,97	0,04
Avilés	0,73	1,00	1,00	1,00	1,00	0,74	0,86	0,79	0,82	0,88	0,88	0,81	0,99	0,98	0,86	0,89	0,10
B. Cádiz	0,47	0,38	0,42	0,40	0,42	0,41	0,46	0,45	0,42	0,44	0,45	0,51	0,56	0,62	0,48	0,46	0,06
Baleares	1,00	0,97	1,00	1,00	0,89	0,94	0,97	0,87	0,74	0,72	0,72	0,81	0,96	0,91	0,82	0,89	0,10
Barcelona	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Bilbao	1,00	1,00	0,67	0,64	1,00	1,00	1,00	1,00	0,48	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,17
Cartagena	0,61	0,74	0,64	0,64	0,88	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,15
Castellón	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,83	0,85	0,91	0,90	0,83	0,95	0,07
Ceuta	1,00	1,00	0,67	0,82	0,89	0,69	0,66	0,65	0,60	0,54	0,58	0,61	0,68	0,76	0,80	0,73	0,15
Ferrol - S. Cibrao	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,82	1,00	1,00	1,00	0,98	0,05
Gijon	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Huelva	0,70	0,48	0,42	0,42	0,47	0,55	0,51	0,48	0,45	0,52	0,51	0,57	0,66	0,63	0,58	0,53	0,08
Las Palmas	0,74	0,54	0,58	0,58	0,63	0,68	0,59	0,55	0,53	0,61	0,62	0,66	0,73	0,74	0,65	0,63	0,07
Málaga	0,79	0,79	0,76	0,81	0,83	0,70	0,32	0,27	0,27	0,29	0,37	0,62	0,88	0,89	0,69	0,62	0,24

DMU	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
Marín	0,52	0,80	0,88	0,85	0,83	1,00	0,99	0,98	0,88	o <b>,</b> 85	o <b>,</b> 87	0,96	1,00	1,00	0,98	0,89	0,12
Melilla	1,00	0,78	0,72	0,70	0,67	0,56	0,54	0,54	0,53	0,52	0,58	0,57	0,56	0,53	0,53	0,62	0,13
Motril	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,97	0,96	0,99	0,01
Pasajes	0,40	0,48	0,50	0,58	0,51	0,56	0,56	0,58	0,62	0,74	0,79	0,84	0,97	0,99	1,00	0,67	0,20
S.C. Tenerife	0,90	0,79	0,73	0,73	0,83	0,83	0,70	0,61	0,62	o <b>,</b> 68	0,67	0,68	0,72	0,72	0,59	0,72	0,09
Santander	0,30	0,18	0,22	0,21	0,22	0,23	0,24	0,21	0,22	0,26	0,27	0,33	0,36	0,40	0,40	0,27	0,07
Sevilla	0,24	0,17	0,19	0,21	0,21	0,24	0,25	0,27	0,27	0,30	0,31	0,33	0,36	0,32	0,29	0,26	0,06
Tarragona	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Valencia	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Vigo	0,71	0,84	0,90	0,83	0,78	0,77	0,80	0,73	0,65	0,61	0,58	0,61	0,69	0,73	0,67	0,73	0,09
Vilagarcía	1,00	0,99	0,94	0,98	o <b>,</b> 88	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,03

A modo de resumen de los resultados obtenidos, en la *Tabla* 2.10 presentamos la ordenación obtenida de los distintos puertos analizados en función del nivel medio de sus índices o *scores* de eficiencia, para el modelo CCR y el BCC. Al igual que hicimos anteriormente con todos los puertos, ahora presentamos el conjunto de puertos del SPE, a excepción de Bahía de Algeciras, ordenados según el *score* de eficiencia medio obtenido para el período analizado. De nuevo distinguimos 3 niveles de eficiencia, en general: eficiencia alta (puertos sombreados de naranja oscuro) para índices de eficiencia superiores al 0,7; eficiencia media (puertos sombreados de naranja claro) para niveles mayores a 0,3 y menores a 0,7; y eficiencia baja (sin sombrear) si el nivel medio de eficiencia no supera el 0,3.

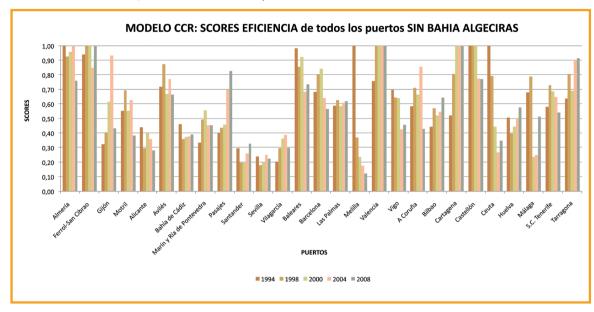


Gráfico 2.3. Modelo CCR sin u. influyentes. Índices de eficiencia del total del SPE



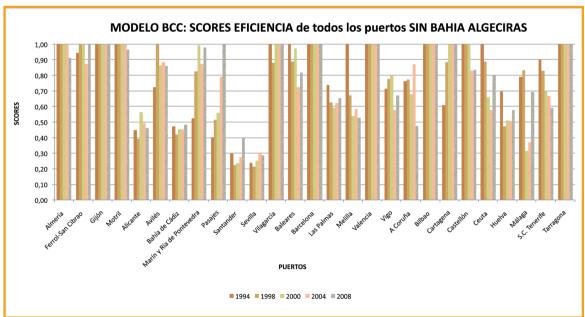


Tabla 2.10. Ordenación de todos los puertos sin B. de Algeciras, según eficiencia media (CCR y BCC)

	Modelo Co	CR			Modelo B	CC	
	DMU	MEDIA	DESV		DMU	MEDIA	DESV
1	Valencia	0,98	0,06	1	Barcelona	1,00	0,00
2	Ferrol-San Cibrao	0,97	0,06	1	Gijón	1,00	0,00
3	Almería	0,93	0,10	1	Tarragona	1,00	0,00
4	Castellón	0,91	0,10	1	Valencia	1,00	0,00
5	Cartagena	0,88	0,17	5	Motril	0,99	0,01
6	Baleares	0,84	0,12	6	Vilagarcía	0,98	0,03
7	Tarragona	0,84	0,13	7	Ferrol-San Cibrao	0,98	0,05
8	Avilés	0,76	0,14	8	Almería	0,97	0,04
9	Barcelona	0,70	0,08	9	Castellón	0,95	0,07
10	A Coruña	o <b>,</b> 68	0,11	10	Bilbao	0,92	0,17
11	S.C. Tenerife	o <b>,</b> 66	0,06	11	Cartagena	0,90	0,15
12	Las Palmas	0,61	0,06	12	Marín	0,89	0,12
13	Vigo	0,59	0,12	12	Avilés	0,89	0,10
14	Pasajes	0,59	0,16	14	Baleares	0,89	0,10
15	Gijón	0,59	0,21	15	Vigo	0,73	0,09
16	Motril	0,56	0,08	16	Ceuta	0,73	0,15
17	Bilbao	0,54	0,08	17	A Coruña	0,72	0,11
18	Málaga	0,53	0,27	18	S.C. Tenerife	0,72	0,09
19	Marín	0,52	0,07	19	Pasajes	0,67	0,20
20	Ceuta	0,50	0,25	20	Las Palmas	0,63	0,07
21	Huelva	0,49	0,08	21	Melilla	0,62	0,13
22	Bahía de Cádiz	0,40	0,07	22	Málaga	0,62	0,24
23	Alicante	0,35	0,05	23	Huelva	0,53	0,08
24	Vilagarcía	0,33	0,05	24	Alicante	0,47	0,07
25	Melilla	0,30	0,22	25	Bahía de Cádiz	0,46	0,06
26	Santander	0,24	0,07	26	Santander	0,27	0,07
27	Sevilla	0,22	0,04	27	Sevilla	0,26	0,06

De este nuevo análisis podemos concluir lo siguiente:

**Primero.** Al igual que ocurría al considerar todos los puertos del SPE, al excluir al puerto de Bahía de Algeciras, la mayoría de puertos presentan índices de eficiencia más altos si suponemos rendimientos variables a escala (VRS), en el modelo BCC. En este caso, el grupo de puertos más eficientes (con un índice de eficiencia igual o superior a 0,7) pasa de tener 9 puertos a 18, al suponer VRS. Este hecho sigue corroborando que el estudio de la eficiencia global de SPE, a excepción de Bahía de Algeciras, suponiendo exclusivamente rendimientos constantes a escala llevaría a infravalorar la eficiencia global de los puertos que lo componen.

**Segundo.** La eficiencia de la mayoría de los puertos ha cambiado considerablemente al eliminar la Autoridad portuaria de Bahía de Algeciras de la muestra analizada, tanto si consideramos rendimientos constante a escala (modelo CCR) como si suponemos que éstos son variables a escala (modelo BCC). Comparando los datos de la *Tabla* 2.10 con los de la *Tabla* 2.6, podemos corroborar un salto importante en el nivel de eficiencia de casi todos los puertos. Así, por ejemplo, el puerto de Barcelona, suponiendo rendimientos variables a escala (modelo BCC) pasa de ocupar en el ranking el puesto 24 a ser uno de los primeros; o el puerto de Valencia que ahora es calificado junto con los puertos de Barcelona, Gijón o Tarragona como completamente eficiente, ocupaba anteriormente el puesto número II de la lista.

**Tercero.** En relación con lo anterior, cabe añadir que el Puerto de Valencia pasa a ser líder indiscutible en la clasificación. Los niveles medios de eficiencia alcanzados por este puerto lo posicionan como el mejor del sistema, tanto si asumimos rendimientos constantes a escala (*score* medio de 0,98 que se deriva de una eficiencia máxima a partir del período 1995), como si contemplamos rendimientos variables a escala (índice de eficiencia o *score* medio igual a la unidad y una desviación nula).

Esta misma metodología será aplicada en el próximo epígrafe suponiendo distinta relevancia o peso en los outputs analizados, añadiendo en la metodología DEA restricciones en los pesos.

## 2.2.5. Resultados con restricciones en los pesos

En la mayoría de los modelos analizados hasta ahora se ha minimizado la necesidad de conocer previamente los aspectos de los datos, es decir, se ha ignorado la importancia

o no de los diferentes inputs y outputs. En algunas situaciones, como la analizada en este trabajo, la importancia de los diferentes inputs es distinta, y por ello se hace necesaria incorporar este conocimiento al análisis de eficiencia.

Como ya comentamos en el epígrafe 2.1.3. a través de la metodología conocida como Assurance Region (AR), podemos imponer restricciones adicionales sobre la magnitud relativa de los pesos de los diferentes inputs y outputs, de forma que formen una región de seguridad sobre estos pesos.

En términos generales, la ecuación [2.25] nos proporciona la relación entre los pesos de los inputs I y 2, siendo  $L_{1,2}$  y  $U_{1,2}$  las cotas inferiores y superiores de la relación entre los pesos de los inputs I y 2,  $(v_2/v_1)$ . Estas cotas inferiores y superiores suponen una información auxiliar adicional sobre el comportamiento de los datos.

$$L_{1,2} \le \frac{v_2}{v_1} \le U_{1,2}$$
 [2.25]

En el caso particular de los puertos, la asunción de que los tráficos de graneles sólidos son mucho más importantes que el tráfico de los graneles líquidos, está asumido por todas las personas relacionas con la actividad portuaria. De la misma forma que el tráfico de mercancía general es más importante que el tráfico de graneles.

Asumiendo esta hipótesis, analizamos de nuevo la eficiencia del Sistema Portuario Español a partir del modelo CCR, incorporando al problema las siguientes restricciones [2.26]:

$$1,5 \le \frac{v_{GS}}{v_{GL}} \le 3,5$$
 [2.26]

$$8 \le \frac{v_{MG}}{v_{GL}} \le 20$$

Estos coeficientes se han obtenido a partir de los datos del tráfico<sup>14</sup> realizado en la Autoridad Portuaria de Valencia, en el año 2006.

Los índices de eficiencia o *scores* medios de los diferentes puertos pertenecientes al Sistema Portuario Español, obtenidos del análisis AR para el período considerado, se muestran en la *Tabla* 2.11 Con el fin de comparar los resultados obtenidos con los ofrecidos por los modelos DEA originales, junto a estos valores presentamos los scores medios que obtuvimos tras la aplicación del modelo CCR original.

La primera conclusión que podemos extraer de los resultados mostrados en la *Tabla* 2.11 es que existen importantes diferencias entre los valores medios de los índices de eficiencia de los diferentes puertos, con y sin restricciones en los pesos. Además, y en términos generales, los niveles de eficiencia de los puertos son menores cuando tenemos en cuenta la preponderancia de los diferentes tráficos.

Tabla 2.11. Scores medios con restricciones en los pesos (modelo AR)

DMU	Score medio AR	Score medio CCR
A Coruña	0,20	0,67
Alicante	0,15	0,21
Almería	0,49	0,91
Avilés	0,31	0,50
Bahía de Algeciras	1	1
Bahía de Cádiz	0,16	0,23
Baleares	0,34	0,40
Barcelona	0,27	0,29
Bilbao	0,19	0,33
Cartagena	0,22	0,88

(14) Debido a la confidencialidad de los datos, no se muestran en este trabajo. En las ponderaciones se ha considerado un margen de tolerancia de aproximadamente un 40 por ciento, debido a las posibles variaciones en la evolución de los precios en este periodo.

DMU	Score medio AR	Score medio CCR
Castellón	0,26	0,87
Ceuta	0,16	0,33
Ferrol-San Cibrao	0,52	0,97
Gijón	0,26	0,59
Huelva	0,15	0,48
Las Palmas	0,23	0,25
Málaga	0,19	0,46
Marín y Ría de Pontevedra	0,21	0,31
Melilla	0,12	0,13
Motril	0,22	0,54
Pasajes	0,25	0,39
S.C. Tenerife	0,22	0,32
Santander	0,11	0,19
Sevilla	0,10	0,15
Tarragona	0,25	0,84
Valencia	0,41	0,46
Vigo	0,23	0,26
Vilagarcía	0,13	0,22

Otra consideración a realizar, es la constatación de que el puerto de Algeciras es de nuevo una unidad influyente, como habíamos comprobado en los epígrafes anteriores. Por ello, replanteamos el análisis AR usando restricciones en los pesos pero sin considerar Bahía de Algeciras. Los resultados de los scores medios de eficiencia obtenidos, junto con los niveles de eficiencia medios del modelo CCR, se muestran en la *Tabla* 2.12.

De los resultados expuestos en la *Tabla* 2.12 se desprende que al excluir el Puerto de Bahía de Algeciras de la muestra analizada, ya no se observan grandes diferencias entre los *scores* medios del modelo AR y el CCR, como ocurría anteriormente. De nuevo, podemos constatar la influencia del puerto de Algeciras sobre los resultados obtenidos, y concluir que se trata de una unidad muy relevante en los análisis efectuados.

Tabla 2.12. Scores medios con restricciones en los pesos, sin Bahía de Algeciras

DMU	Score medio AR	Score medio CCR
A Coruña	0,39	0,68
Alicante	0,33	0,35
Almería	0,80	0,93
Avilés	0,68	0,76
Bahía de Cádiz	0,37	0,40
Baleares	0,82	0,84
Barcelona	0,65	0,70
Bilbao	0,43	0,54
Cartagena	0,47	0,88
Castellón	0,59	0,91
Ceuta	0,39	0,50
Ferrol-San Cibrao	0,83	0,97
Gijón	0,46	0,59
Huelva	0,29	0,49
Las Palmas	0,57	0,61
Málaga	0,40	0,53
Marín y Ría de Pontevedra	0,49	0,52
Melilla	0,30	0,30
Motril	0,42	0,56
Pasajes	0,54	0,59
S.C.Tenerife	0,55	0,66
Santander	0,21	0,24
Sevilla	0,21	0,22
Tarragona	0,49	0,84
Valencia	0,98	0,98
Vigo	0,58	0,59
Vilagarcía	0,28	0,33

La información mostrada por la *Tabla* 2.12 es recogida de nuevo en la *Tabla* 2.13, presentando una ordenación orientativa de los diferentes puertos en función de los *scores* medios de eficiencia con restricciones en los pesos. De nuevo distinguimos 3 niveles de eficiencia: eficiencia alta (puertos sombreados de naranja oscuro) para índices de eficiencia superiores al 0,7; eficiencia media (puertos sombreados de naranja claro) para niveles mayores a 0,3 y menores a 0,7; y eficiencia baja (sin sombrear) si el nivel medio de eficiencia no supera el 0,3.

Tabla 2.13. Ordenación según scores medios con restricciones en los pesos, sin Bahía de Algeciras

	DMU	Score medio AR	Score medio CCR
1	Valencia	0,98	0,98
2	Ferrol-San Cibrao	0,83	0,97
3	Baleares	0,82	0,84
4	Almería	0,80	0,93
5	Avilés	0,68	0,76
6	Barcelona	0,65	0,70
7	Castellón	0,59	0,91
8	Vigo	0,58	0,59
9	Las Palmas	0,57	0,61
10	S.C. Tenerife	0,55	0,66
11	Pasajes	0,54	0,59
12	Marín y Ría de Pontevedra	0,49	0,52
13	Tarragona	0,49	0,84
14	Cartagena	0,47	0,88
15	Gijón	0,46	0,59
16	Bilbao	0,43	0,54
17	Motril	0,42	0,56
18	Málaga	0,40	0,53
19	A Coruña	0,39	o <b>,</b> 68
20	Ceuta	0,39	0,50

	DMU	Score medio AR	Score medio CCR
21	Bahía de Cádiz	0,37	0,40
22	Alicante	0,33	0,35
23	Melilla	0,30	0,30
24	Huelva	0,29	0,49
25	Vilagarcía	0,28	0,33
26	Santander	0,21	0,24
27	Sevilla	0,21	0,22

Observando la ordenación dada por la Tabla 2.13, podemos concluir:

**Primero.** Como ya hemos comentado, al excluir al puerto de Bahía de Algeciras, la mayoría de puertos presentan índices de eficiencia más altos que en el análisis conjunto de todo el Sistema Portuario Español. Esto nos confirma que realmente Bahía de Algeciras es una unidad influyente en el análisis.

**Segundo.** Al incorporar restricciones en los pesos (modelo AR), el número de puertos que podemos considerar como muy eficientes se reduce considerablemente. En este caso, únicamente los puertos de Valencia, Ferrol-San Cibrao, Baleares y Almería presentan índices de eficiencia superiores a 0,7. Estos cuatro puertos ya ocupaban lugares destacados tras el análisis CCR (ver *Tabla* 2.10). No obstante, otros puertos que los acompañaban -como Castellón, Tarragona o Barcelona, entre otros- han pasado a ser catalogados como puertos de eficiencia media.

En cuanto al grupo de puertos menos eficientes (con scores inferiores a 0,3), podemos observar que al tener en cuenta el peso de los distintos outputs el grupo crece. A los puertos de Santander y Sevilla, los menos eficientes con el modelo CCR, se unen los puertos de Huelva y Vilagarcía al valorarlos con el método AR. Los scores de estos últimos puertos han descendido, como en la mayoría de puertos, llevando a niveles de eficiencia muy bajos.

**Tercero.** Con esta nueva metodología, y sin tener en cuenta el Puerto de Bahía de Algeciras, volvemos a corroborar el puesto de liderazgo del Puerto de Valencia en la clasificación. Con un índice medio de eficiencia de 0,98, tanto si suponemos diferencias en los pesos de los diferentes tráficos (modelo AR) como si asumimos la misma importancia relativa en ellos (modelo CCR).

En definitiva, el hecho de suponer que no todos los tráficos tienen la misma importancia relativa -puesto que los graneles sólidos son, por lo general, más relevantes que los líquidos y el tráfico de mercancía general tiene mayor peso que el de graneles- proporciona a los puertos analizados niveles de eficiencia diferentes a los obtenidos con la metodología tradicional. No obstante, las ordenaciones jerárquicas de los puertos en función de su nivel medio de eficiencia, proporcionadas por el análisis DEA con restricciones en los pesos (modelo AR) no presentan cambios significativos respecto a los estudios previos.

## 2.2.6. Resultados con el modelo FDH

Para la aplicación de este modelo se han seleccionado los mismos inputs y outputs que venimos utilizando a lo largo del trabajo, esto es, el inmovilizado neto como input y los diferentes tipos de tráficos como output a obtener.

Así, la aplicación del modelo [2.16], proporciona los siguientes resultados (Tabla 2.14):

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA
A Coruña	1	1	1	1	1	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1	0,62	0,97
Alicante	1	0,49	0,46	0,47	0,47	1	1	1	1	0,98	1	1	1	1	0,95	0,85
Almería	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 2.14. Scores modelo FDH con 28 puertos

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA
Avilés	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B. de Algeciras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bahía de Cádiz	1	0,82	0,88	0,90	0,91	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,96
Baleares	1	0,90	0,96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99
Barcelona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bilbao	1	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	1
Castellón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ceuta	1	1	1	1	1	1	1	0,98	1	0,94	0,99	1	1	1	1	0,99
Ferrol-S. Cibrao	1	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	1
Huelva	1	o <b>,</b> 85	0,86	1	0,93	0,97	1	0,98	0,95	0,93	0,91	1	1	1	1	0,96
Las Palmas	0,76	0,49	0,51	0,54	0,57	0,57	0,57	0,56	0,55	0,56	0,58	0,65	0,75	0,85	0,90	0,63
Málaga	1	1	1	1	1	1	0,61	0,44	0,44	0,51	0,56	1	1	1	1	0,84
Marín y R. Pont.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Melilla	1	1	1	1	1	0,95	o <b>,</b> 87	0,85	0,88	1	1	1	1	0,87	0,81	0,95
Motril	1	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	1
S.C. Tenerife	0,80	0,62	0,63	0,70	0,77	0,78	0,79	0,79	0,82	0,88	0,94	1	1	1	1	0,83
Santander	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,70	0,98
Sevilla	1	0,95	0,96	1	1	0,92	0,95	1	0,48	1	1	1	1	1	1	0,95
Tarragona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Valencia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA
Vigo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,86	1	0,99
Vilagarcía	1	0,99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nº Unidades Eficientes	26	20	21	24	23	22	21	21	22	22	23	27	27	25	23	

Como puede observarse en algunos años, todas las unidades son consideradas completamente eficientes, lo que supone que más de 23 unidades (en promedio) son eficientes en cada uno de los años analizados.

En la *Tabla* 2.14 se han resaltado de forma especial los puertos de Bahía 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 ha señalado previamente es una unidad influyente y por ello se ha excluido en el segundo análisis. Valencia, es uno de los puertos que por sus especiales características y evolución merecerá posteriormente un análisis más detallado.

La exclusión del puerto de Bahía del Algeciras del análisis, ha supuesto realizar un nuevo análisis con 27 puertos. Los resultados pueden verse en la *Tabla* 2.15. En este caso más de 24 puertos (en promedio) pueden ser considerados como eficientes en cada año.

Tabla 2.15. Scores modelo FDH con 27 puertos

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA
		н	-	-			7	7	7	7	7	7	7			
A Coruña	1	1	1	1	1	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1	0,62	0,97
Alicante	1	0,50	0,46	0,47	0,47	1	1	1	1	0,98	1	1	1	1	0,95	0,85
Almería	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Avilés	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bahía de Cádiz	1	1	1	0,90	0,91	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,98
Baleares	1	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	1
Bilbao	1	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	1
Castellón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ceuta	1	1	1	1	1	1	1	0,98	1	0,94	0,99	1	1	1	1	0,99
Ferrol-S.Cibrao	1	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	1
Huelva	1	0,85	o <b>,</b> 86	1	0,93	0,97	1	0,99	0,95	0,93	0,91	1	1	1	1	0,96
Las Palmas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Málaga	1	1	1	1	1	1	0,61	0,44	0,44	0,51	0,56	1	1	1	1	0,84
Marín y R. Pontev.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Melilla	1	1	1	1	1	0,95	0,87	0,85	0,89	1	1	1	1	0,87	0,80	0,95
Motril	1	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	1
S.C. Tenerife	1	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	0,70	0,98
Sevilla	1	0,95	0,95	1	1	1	1	1	0,48	1	1	1	1	1	1	0,96
Tarragona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA
Valencia	1	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	0,86	1	0,99
Vilagarcía	1	0,99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nº Unidades Eficientes	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. En el próximo capítulo proponemos y aplicamos métodos más apropiados para la determinación del ranking de los puertos pertenecientes al SPE.

Para finalizar el análisis de la eficiencia global del Sistema Portuario Español, seguidamente presentamos las principales conclusiones que se pueden derivar, comparando las diferentes metodologías planteadas en el capítulo.

## 2.2.7. Conclusiones

A modo de resumen, tras el análisis de la eficiencia técnica del conjunto puertos pertenecientes al Sistema Portuario Español, podemos concluir:

**Primero.** Los resultados alcanzados tras la aplicación de la metodología DEA a la totalidad de puertos nacionales, a lo largo del horizonte temporal considerado, ponen de manifiesto que el Sistema Portuario Español está integrado por un conjunto de Autoridades Portuarias que, en su mayoría, han sabido gestionar eficientemente sus recursos para el desarrollo de su actividad. En concreto, los índices de eficiencia obtenidos tras la aplicación del modelo CCR (suponiendo rendimientos constantes a escala para las unidades

analizadas) ponen de manifiesto que, en términos medios, el 68% de los puertos tienen una eficiencia que catalogamos como media-alta, y este porcentaje asciende al 89% si el modelo empleado en el estudio de la eficiencia relativa de dichas unidades es el modelo BCC (con rendimientos variables a escala).

**Segundo.** Tras el análisis de la eficiencia relativa global del conjunto portuario español corroboramos que la Autoridad Portuaria de Bahía de Algeciras es el único puerto que ha permanecido siempre en los niveles máximos de eficiencia a lo largo de todo el horizonte temporal analizado.

Este hecho nos lleva a cuestionarnos si el puerto de Bahía de Algeciras es una unidad influyente que determina significativamente el nivel de eficiencia relativo del resto de puertos, concluyendo que realmente lo es. El puerto de Bahía de Algeciras, por su situación geográfica estratégica y su propia idiosincrasia, consigue gestionar un gran volumen de tráficos, mayoritariamente graneles líquidos, y numerosos transbordos, con una infraestructura menor a la del resto de puertos, por lo que obtiene mejores niveles de eficiencia en cada ejercicio y condiciona la eficiencia relativa del resto de unidades.

**Tercero.** Una vez comprobado que el puerto de Bahía de Algeciras es realmente una unidad influyente en el sistema procedemos a su exclusión de la muestra, corroborando que la eficiencia de la mayoría de los puertos mejora considerablemente, tanto si consideramos rendimientos constantes o variables a escala. En este caso, el 89% de puertos pertenecientes al SPE presentan un nivel de eficiencia medio-alto en los análisis efectuados, tanto con el modelo CCR como con el modelo BCC.

En este nuevo contexto, destacamos la posición del Puerto de Valencia como líder indiscutible en la clasificación. Los niveles medios de eficiencia alcanzados por dicha unidad tras el análisis, tanto con rendimientos constantes como variables a escala, lo posicionan como el mejor puerto del sistema, es decir, el que mejor nivel de actividad posee dada su infraestructura.

**Cuarto.** Al incorporar las diferencias en el peso o relevancia de los diferentes tipos de tráficos considerados como outputs en nuestro estudio, los niveles de eficiencia de los puertos pertenecientes al SPE se ven reducidos, en general. La aplicación del análisis DEA con restricciones en los pesos (modelo AR) no presenta grandes diferencias respecto

a las metodologías previas a la hora de ordenar los puertos en función de sus niveles medios de eficiencia, pero revela únicamente a los puertos de Almería, Baleares, Ferrol-San Cibrao y Valencia como muy eficientes. De nuevo, este último ostenta el puesto de liderazgo en la muestra.

**Quinto.** Al considerar el modelo FDH, aparecen múltiples unidades eficientes, ya que la mayoría de ellas se comparan con si misma y es difícil realizar una priorización entre ellas. Al eliminar la unidad influyente de Bahía de Algeciras, ya se pueden distinguir más unidades no eficientes, pero aún así subsisten muchas unidades con el máximo nivel de eficiencia.

# 2.3. Análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español por grupos

## 2.3.1. Diseño del análisis

En el capítulo primero se realizó una doble clasificación de los puertos, primero en relación a la fachada a la que pertenecen y, en segundo lugar, pusimos de manifiesto el hecho de que la especialización en la estructura del tráfico contribuye en gran medida a la caracterización de los puertos. Los puertos pioneros en cuanto a rentabilidad económica y niveles de actividad, han sido básicamente aquellos que han conseguido una mayor especialización en sus tráficos (graneles sólidos, líquidos o mercancía general).

En este epígrafe pretendemos retomar de nuevo el análisis de la eficiencia técnica del Sistema Portuario Español desde un punto de vista sectorial, asumiendo la doble estructura obtenida en el capítulo anterior, tanto con relación a su situación geográfica como en concordancia con la clasificación tradicional de los puertos según los tráficos que componen su actividad.

Los puertos adscritos a cada una de las fachadas son (Véase Tabla 1.2):

- **Grupo Insular**: Baleares, Ceuta, Las Palmas, Melilla y Santa Cruz de Tenerife.
- **Grupo Norte:** A Coruña, Avilés, Bilbao, Ferrol-San Cibrao, Gijón, Marín y Ría de Pontevedra, Pasajes, Santander y Villagarcía.
- **Grupo Sur / Este:** Alicante, Almería, Bahía de Algeciras, Bahía de Cádiz, Barcelona, Cartagena, Castellón, Huelva, Málaga, Motril, Sevilla, Tarragona y Valencia.

Retomando los resultados que obtuvimos tras la aplicación del análisis *cluster* al conjunto de puertos nacionales, en la *Tabla* 2.16 mostramos los cuatro grupos definidos en el capítulo anterior:

- El **grupo I**, compuesto por los puertos de Almería, Ferrol, Gijón y Motril, es un conjunto de puertos muy homogéneos en cuanto a la estructura de sus tráficos, con claro predominio de los *graneles sólidos*. Este grupo fue el que mejor clasificación obtuvo tras el análisis *cluster* aplicado en el capítulo anterior.
- El **grupo 2** lo forman 8 puertos con tráficos poco homogéneos, pero con clara superioridad en *graneles sólidos y mercancía general*. Recordamos que este grupo fue el peor clasificado según la metodología *cluster*.
- El grupo 3 está formado por 7 puertos que trafican principalmente con mercancía general (a excepción del puerto de Bahía de Algeciras (BAG) que también tiene un gran volumen de graneles líquidos). Tras el análisis cluster comprobamos que este grupo estaba compuesto por puertos muy rentables pero con niveles de actividad bajos en relación a su inmovilizado.
- El **grupo 4**, compuesto por 9 puertos con predominio de *graneles líquidos*, es un grupo de puertos bastante rentables y con un nivel de actividad considerable.

Tabla 2.16. Resultados del cluster: grupos de puertos

GRUPO	PUERTO		GRUPO	PUERTO	
	Almería	ALM		Alicante	ALI
	Ferrol	FER		Avilés	AVL
1	Gijón	GIJ		Bahía de Cádiz	BCZ
	Motril	MOT	_	Marín	MAR
			2	Pasajes	PAS
				Santander	SAT
				Sevilla	SEV
				Vilagarcía	VLG

GRUPO	PUERTO		GRUPO	PUERTO	
3	Bahía Algeciras	BAG	4	A Coruña	ACO
	Baleares	BAL		Bilbao	BIL
	Barcelona	BAR		Cartagena	CAR
	Las Palmas	LPL		Ceuta	CEU
	Melilla	MEL		Castellón	CST
	Valencia	VAL		Huelva	HUE
	Vigo	VIG		Málaga	MAL
				Tarragona	TAR
				Santa Cruz de Tenerife	TEN

El siguiente paso en nuestro estudio es identificar si la comparativa de los puertos con otros de similares características, esto es, dentro del grupo en el que ha sido catalogado, modifica los resultados obtenidos tras el análisis de la eficiencia técnica del Sistema Portuario Español en su totalidad. Con este estudio pretendemos dar respuestas a cuestiones como: un puerto que no era demasiado eficiente ¿puede llegar a serlo si lo comparamos con otros puertos similares? ¿Qué puerto es el que ocupa el papel de líder en el grupo? ¿El Sistema Portuario Español presenta un conjunto de puertos que destacan en eficiencia frente al resto?

Para dar respuesta a estas y otras preguntas, vamos a aplicar la metodología DEA descrita por grupos, considerando como DMUs los puertos incluidos en cada uno de los grupos anteriormente definidos. En cuanto a las variables definidas en este estudio, no vamos a incorporar variaciones respecto al estudio de la eficiencia global, es decir, seguimos considerado como output los diferentes tipos de tráfico (en miles de toneladas) distinguiendo entre: graneles sólidos (GS), graneles líquidos (GL) o mercancía general (MG) y como input el inmovilizado total neto (en miles de euros) como variable representativa de la estructura de los puertos y clave en la importancia relativa de los mismos. El horizonte temporal contemplado sigue siendo el mismo que en el estudio anterior: los años comprendidos entre 1994 y el 2008, inclusive.

Otra de las cuestiones que nos planteamos a la hora de analizar la eficiencia del Sistema Portuario Español según la estructura definida a partir del análisis *cluster*, es si realmente

los grupos determinados son consistentes, es decir, si realmente existen diferencias significativas entre los distintos grupos que los hacen verdaderamente diferentes entre sí. Con este objeto, hemos aplicado el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, tal y como exponemos en el siguiente epígrafe.

Para el estudio de la eficiencia de los grupos de puertos definidos, vamos a emplear la metodología DEA analizada en los epígrafes anteriores, suponiendo únicamente rendimientos constantes a escala (modelo CCR). A este respecto, cabe señalar que, tal y como argumentamos en el epígrafe 2.2.2 del presente capítulo, aunque la hipótesis de rendimientos variables a escala para las unidades se acerca más a la realidad de la actividad portuaria, el modelo CCR discrimina mejor la eficiencia de las unidades analizadas<sup>15</sup>.

A continuación, exponemos los resultados obtenidos tras la aplicación del estadístico de *Kruskal-Wallis* como paso previo al estudio de la eficiencia de los grupos que conforman el actual Sistema Portuario Español.

## 2.3.2.Test no paramétrico de Kruskal-Wallis

Una de las cuestiones que nos planteamos a la hora de analizar la eficiencia del Sistema Portuario Español según la estructura definida a partir del análisis *cluster*, es si realmente los grupos determinados son consistentes, es decir, si realmente existen diferencias significativas entre los distintos grupos que los hacen verdaderamente diferentes entre sí.

Este tipo de problemas se resuelve con la aplicación de pruebas paramétricas y test estadísticos, como la *t* de student o el tradicional análisis de varianza (ANOVA). No obstante, como nuestra población no cumple todas las hipótesis necesarias para la aplicación de dichas pruebas (como, por ejemplo, la homoce(15) Inicialmente contemplamos la posibilidad de analizar la eficiencia sectorial del SPE tanto con rendimientos constantes a escala (modelo CCR) como con rendimientos variables (modelo BCC). Esta situación ampliaría notablemente el número de tablas, cuadros, cálculos y resultados sin mejorar sustancialmente las conclusiones del análisis. Por ello, en base a las razones que se explicitan, nos hemos decantado por el modelo CCR.

dasticidad y la normalidad de la muestra) debemos recurrir al uso de pruebas no paramétricas equivalentes.

Con este objeto, hemos aplicado el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, propuesto por William Henry Kruskal y W. Allen Wallis en 1952<sup>16</sup>. A nivel estadístico, la prueba de Kruskal-Wallis es un método no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población. Intuitivamente, es idéntico al ANOVA con los datos reemplazados por categorías. Es una extensión de la prueba de la *U de Mann-Whitney*<sup>17</sup> para 3 o más grupos.

El contraste de Kruskall-Wallis es la alternativa no paramétrica del método ANOVA, es decir, sirve para contrastar la hipótesis de que k muestras cuantitativas han sido obtenidas de la misma población, es decir, si existen diferencias entre varias muestras no relacionadas. En consecuencia, la hipótesis a contrastar es la siguiente [2.27]:

H<sub>0</sub> = Las k muestras provienen [2.27]
de la misma población

H<sub>1</sub> = Alguna muestra proviene de una población diferente al resto

(16) Kruskal, W.H. y Wallis, W.A. (1952): "Use of ranks in one-criterion variance analysis". Journal of American Statistics Association. 47 (260): 583–621.

(17) La prueba U de Mann-Whitney, propuesta inicial-mente por Wilcoxon en 1945, es una prueba aplicada a dos muestras independientes de igual tamaños. Fue extendida posteriormente a muestras de tamaño arbitrario y otras hipótesis por Mann y Whitney en 1947.

Si como resultado de la aplicación de dicha prueba obtenemos un nivel de significación estadística (p) mayor a 0,05, estaremos aceptando la hipótesis nula definida y, por tanto, las muestras analizadas (grupos de puertos) no serán significativamente diferentes unas de otras, sino similares. Si, por el contrario, obtenemos un valor de p menor o igual a 0,05 rechazaremos la hipótesis de partida y concluiremos que las muestras presentan diferencias significativas siendo, por tanto, grupos diferentes entre sí.

Tras aplicar el test de Kruskal-Wallis a los índices de eficiencia de los grupos de puertos definidos anteriormente (por situación geográfica o por grupo del cluster), durante los diferentes años que componen el horizonte temporal analizado, obtenemos los valores de p que se muestran en las Tablas 2.17 y 2.18. Para realizar esta prueba hemos tenido en cuenta los resultados del análisis de la eficiencia, aplicando tanto el modelo CCR<sup>18</sup> como el modelo BCC<sup>19</sup>. A modo de ejemplo, mostramos los resultados obtenidos con el SPSS para el año 2008, en el caso de la clasificación del cluster (Tabla 2.19), en los que se informa del valor del estadístico Chi-cuadrado, los grados de libertad (gl) del estadístico anterior y la significatividad asintótica.

Tal y como se deduce de la *Tabla* 2.17, en todos los períodos *p* es mayor a 0,05, lo que implica que en cualquier caso estaríamos aceptando la hipótesis nula de partida y concluyendo que los grupos de puertos, según fachadas, no son significativamente distintos entre sí. En consecuencia, la clasificación geográfica carece de sentido, y por ello abandonaremos esta agrupación de los puertos en los análisis posteriores, centrándonos únicamente en la clasificación proporcionada por el *cluster*.

Observando los resultados del test *Kruskal-Wallis* a los grupos definidos por el análisis *cluster*, recogidos en la *Tabla* 2.18, podemos concluir que únicamente en tres períodos *p* es mayor o igual a 0,05 (valores resaltados), lo que implicaría que en esos períodos no existen diferencias significativas entre los grupos de puertos definidos por el análisis *cluster*. No obstante, para el resto de años podemos concluir que los grupos analizados si son significativamente distintos entre sí. Este hecho, nos permite corroborar que los grupos definidos pueden ser considerados diferentes entre sí y por tanto, podemos analizar la eficiencia de cada uno de estos grupos de forma individualizada.

<sup>(18)</sup> Suponiendo rendimientos constantes a escala en las unidades analizadas.

<sup>(19)</sup> Con rendimientos variables a escala en las unidades analizadas.

Tabla 2.17. Test Kruskal-Wallis para la clasificación geográfica

Período	Resultado CCR Nivel de significación (p)	Resultado BCC Nivel de significación (p)
1994	0,512	0,810
1995	0,606	0,470
1996	0,515	0,420
1997	0,593	0,585
1998	0,488	0,447
1999	0,335	0,254
2000	0,302	0,463
2001	0,185	0,427
2002	0.132	0,309
2003	0,131	0,263
2004	0,132	0,313
2005	0,117	0,282
2006	0,091	0,153
2007	0,114	0,136
2008	0,208	0,214

Tabla 2.18. Test Kruskal-Wallis para los grupos Cluster

Período	Resultado CCR Nivel de significación (p)	Resultado BCC Nivel de significación (p)
1994	0,044	0,033
1995	0,026	0,048
1996	0,018	0,048
1997	0,019	0,037
1998	0,024	0,037
1999	0,033	0,019

Período	Resultado CCR Nivel de significación (p)	Resultado BCC Nivel de significación (p)
2000	0,025	0,040
2001	0,039	0,055
2002	0.036	0,050
2003	0,038	0,049
2004	0,034	0,044
2005	0,054	0,133
2006	0,049	0,030
2007	0,125	0,049
2008	0,095	0,036

Tabla 2.19. Test Kruskal-Wallis: salida del SPSS para el período 2008

Estadíst contra	
	Vo8
Chi-cuadrado gl Sig.asintót.	8,557 3 ,036
a. Prue Krusbal- b.Varial agrupación	-Wallis ble de

Fuente: SPSS Statistics 17.0

### 2.3.3. Análisis de la eficiencia por grupos

En este epígrafe presentamos los resultados del análisis de la eficiencia de los grupos de puertos definidos en el capítulo anterior. Tal y como hemos argumentado en el punto 2.3.1, hemos aplicado la metodología DEA en cada uno de los grupos considerados, suponiendo únicamente rendimientos constantes a escala (modelo CCR).

Tras la resolución del modelo CCR para los cuatro grupos analizados y a lo largo del horizonte temporal contemplado, obtenemos los scores o coeficientes que miden la eficiencia de cada uno de los puertos evaluados en relación al resto de puertos pertenecientes a su mismo grupo. Estos resultados se muestran en las *Tablas* 2.20, 2.21, 2.22 y 2.23 para los grupos 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Esta misma información se ilustra en los *Gráficos* 2.5 (grupo 1), 2.6 (grupo 2), 2.7 (grupo 3), 2.8 (grupo 3 sin Bahía de Algeciras) y 2.9 (grupo 4).

Queremos señalar que, dado que el puerto de Bahía de Algeciras ha sido catalogado en los análisis anteriores como una unidad influyente, hemos procedido a evaluar la eficiencia del tercer grupo (al que pertenece inicialmente) con y sin esta unidad. De esta forma, podremos determinar si el puerto de Bahía de Algeciras debe ser considerada como una unidad influyente incluso en el estudio de la eficiencia a nivel sectorial.

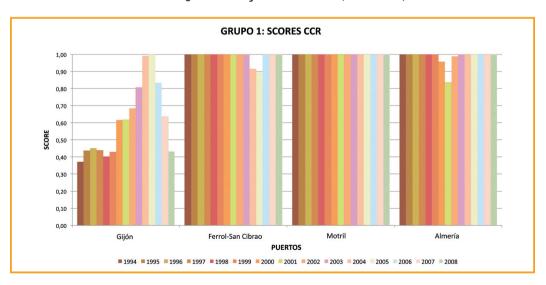


Gráfico 2.5. Scores de eficiencia GRUPO 1 (modelo CCR)

Fuente: elaboración propia

1999 Grupo 1 2002 Almería 0,96 0,84 0,99 0,99 0,04 Ferrol-S. 0,92 0,90 0,99 0,03 Cibrao Gijón 0,62 0,62 0,69 0,81 0,83 0,64 0,61 0,99 1,00 0,43 0,21 0,44 0,41 0,43 Motril

Tabla 2.20. GRUPO 1. Scores de eficiencia (modelo CCR)

Del análisis de la eficiencia del GRUPO I (*Tabla* 2.20 y *Gráfico* 2.5) podemos concluir que:

- Este grupo está compuesto por tres puertos muy eficientes: Almería, Ferrol-San Cibrao y Motril, que han conseguido mantenerse en los niveles máximos de eficiencia durante prácticamente todo el período considerado.
- De estos tres puertos, Motril debe ser considerado el líder indiscutible del grupo, puesto que los scores de eficiencia han sido unitarios para todos los años analizados.
- Gijón, el cuarto puerto que completa el grupo, aunque mejora en gran medida su eficiencia en la primera década del estudio (llegando a su nivel máximo en el 2005), no consigue mantenerla en los últimos años. La explicación de este gran descenso de los scores de eficiencia de los últimos años viene dada por un gran crecimiento de la estructura económica de este puerto en el período analizado<sup>20</sup>, que no ha sido acompañado por un crecimiento similar en sus tráficos, consecuencia en parte de la reciente crisis económica atravesada.

(20) El inmovilizado bruto del puerto de Gijón aumentó en más de un 55% en el período comprendido entre 1994 y 2005.

Del análisis de la eficiencia del GRUPO 2 (Tabla 2.21 y Gráfico 2.6) podemos concluir que:

- Este grupo está compuesto por ocho puertos con niveles de eficiencia muy diferentes. Podríamos diferenciar cuatro puertos con un nivel de eficiencia alto (mayor a 0,7):Avilés, Marín y Ría de Pontevedra, Pasajes y Vilagarcía; y otros cuatro puertos con niveles medios eficiencia (entre 0,3 y 0,7): Alicante, Bahía de Cádiz, Santander y Sevilla.
- Dentro del segundo grupo, el puerto de Avilés se constituye en líder absoluto al obtener unos scores de eficiencia unitarios en el horizonte temporal analizado.
- Analizando la evolución de los scores a lo largo del tiempo, encontramos puertos, como Alicante, Bahía de Cádiz, Marín y Sevilla, que han visto reducir sus niveles de eficiencia significativamente en los últimos años. La reducción de los tráficos en sus actividades portuarias, consecuencia en gran medida de la reciente crisis económica. Por el contrario, otros puertos, como Pasajes o Vilagarcía, han mantenido unos niveles de eficiencia muy altos en todo el horizonte contemplado, obteniendo incluso incrementos en los mismos para los últimos años.

Grupo 2	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
Avilés	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Alicante	1	0,34	0,35	0,35	0,36	0,57	0,69	0,76	0,88	0,72	0,65	0,64	0,57	0,58	0,46	0,60	0,19
Bahía de Cádiz	0,72	0,44	0,46	0,45	0,49	0,57	0,69	0,71	0,81	0,75	0,74	0,81	0,73	0,70	0,58	0,64	0,13
Marín y Ría Pontevedra	0,58	0,54	o <b>,</b> 68	0,60	0,61	1	1	1	1	0,91	0,81	0,82	0,80	0,78	0,56	0,78	0,17
Pasajes	0,72	0,54	0,50	0,61	0,59	0,83	0,75	0,85	0,99	1	1	1	1	1	1	0,83	0,19
Santander	0,83	0,37	0,37	0,41	0,44	0,49	0,38	0,41	0,38	0,38	0,43	0,56	0,42	0,49	0,51	0,46	0,11
Sevilla	0,59	0,26	0,30	0,34	0,27	0,34	0,33	0,41	0,42	0,38	0,39	0,42	0,42	0,38	0,33	0,37	0,08
Vilagarcía	0,69	0,43	0,40	0,42	0,52	0,55	0,89	0,97	0,99	1	0,93	1	0,96	1	1	0,78	0,24

Tabla 2.21. GRUPO 2. Scores de eficiencia (modelo CCR)

Fuente: elaboración propia

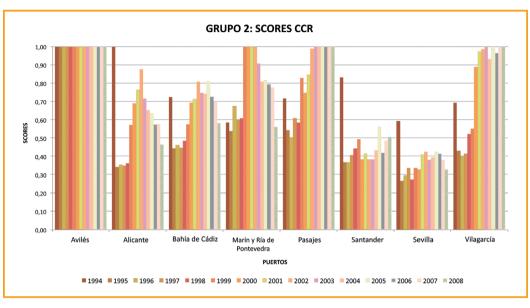


Gráfico 2.6. Scores de eficiencia GRUPO 2 (modelo CCR)

Del análisis de la eficiencia del GRUPO 3 (Tabla 2.22 y Gráficos 2.7,2.8) podemos concluir que:

- Si consideramos el puerto de Bahía de Algeciras, este grupo está constituido por 7 puertos de los cuales, sólo 3 (Bahía de Algeciras, Baleares y Valencia) presentan niveles de eficiencia altos. Otros dos puertos pueden ser catalogados con un nivel medio de eficiencia: Barcelona, que presenta una reducción considerable en el valor de sus scores durante la última década, y el puerto de Vigo. Y, por último, el puerto de Melilla, es un puerto con niveles de eficiencia muy bajos que han ido decreciendo a lo largo del tiempo.
- Tal y como habíamos concluido en el estudio de la eficiencia global de los puertos que componen el SPE actual, el puerto de Bahía de Algeciras es una unidad influyente que determina en gran medida la eficiencia relativa del resto de unidades con las que se compara. Por ello, a nivel sectorial, hemos procedido a eliminar este puerto de la muestra para comprobar que los resultados del análisis se ven afectados en gran medida. En concreto, todos los puertos mejoran su nivel de eficiencia relativa obteniendo scores con valores medios muy superiores a los anteriores.

Eliminando el puerto de Bahía de Algeciras del grupo, nos quedamos con un total de seis puertos, de los cuales la mitad -los puertos de Baleares, Valencia y Barcelona- obtienen la máxima calificación en eficiencia en todos los períodos analizados. Junto a estos, el puerto de Las Palmas se sitúa en un nivel alto de eficiencia que ha ido creciendo a lo largo de los años. El puerto de Vigo seguiría catalogado con un nivel medio de eficiencia y el puerto de Melilla sigue presentando los peores resultados de todo el grupo, mostrando una clara tendencia a empeorar en cuanto a eficiencia se refiere.

Sin contemplar el puerto de Bahía de Algeciras, este sería el grupo que mejores resultados presenta en el estudio sectorial de la eficiencia. Se trata de un grupo especializado principalmente en el tráfico de mercancía general en el que intuimos un gran crecimiento potencial para los próximos años<sup>21</sup>. Estos hechos, sumados a la cercanía y vinculación histórica de la Universidad de Valencia con el Puerto de Valencia, catalogado dentro de este grupo, nos conducen a prestar una especial atención a las características y configuración de este conjunto de puertos, tal y como veremos en el siguiente epígrafe.

(21) Remitimos al lector a los resultados obtenidos en el Capítulo 1 tras la aplicación del análisis *cluster*.

Tabla 2.22. GRUPO 3. Scores de eficiencia (modelo CCR)

Grupo 3	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
Bahía de Algeciras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Baleares	0,82	0,47	0,68	0,83	1	0,93	0,82	0,83	0,78	0,86	0,96	0,96	0,95	1	1	0,86	0,14
Barcelona	0,82	0,76	0,97	1,00	0,92	0,64	0,46	0,53	0,43	0,47	0,43	0,46	0,44	0,42	0,46	0,61	0,21
Las Palmas	0,31	0,17	0,25	0,28	0,32	0,29	0,29	0,35	0,32	0,34	0,35	0,37	0,39	0,42	0,42	0,32	0,06
Melilla	0,55	0,15	0,12	0,12	0,13	0,10	0,10	0,09	0,16	0,08	0,09	0,12	0,08	0,08	0,08	0,14	0,11
Valencia	1	0,78	0,88	0,87	1,00	0,97	0,82	1	1	0,98	1	1	1	1	0,92	0,95	0,07
Vigo	0,38	0,36	0,42	0,45	0,48	0,35	0,36	0,53	0,48	0,57	0,47	0,45	0,47	0,47	0,43	0,44	0,06

Grupo 3 sin Bahía Algeciras	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
Baleares	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Barcelona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Las Palmas	0,78	0,57	0,57	0,57	0,78	0,79	0,69	0,78	0,73	0,85	0,84	0,90	0,96	0,97	0,93	0,78	0,13
Melilla	1	0,46	0,41	0,39	0,38	0,27	0,24	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,18	0,15	0,12	0,31	0,21
Valencia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Vigo	0,75	0,79	0,79	0,70	0,65	0,64	0,64	0,56	0,49	0,58	0,47	0,45	0,52	0,54	0,47	0,60	0,12

GRUPO 3: SCORES CCR

1,00
0,80
0,70
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
Bahia de Algeciras Baleares Valencia Las Palmas Vigo Barcelona Melilla

PUERTOS

1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008

Gráfico 2.7. Scores de eficiencia GRUPO 3 (modelo CCR)

Fuente: elaboración propia

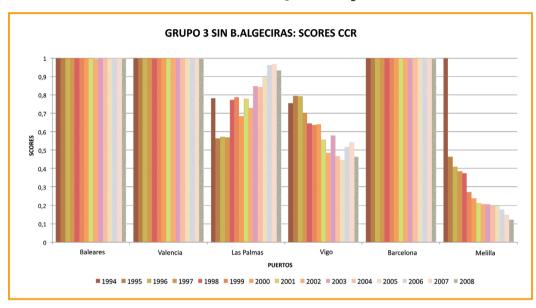


Gráfico 2.8. Scores de eficiencia GRUPO 3 sin Bahía Algeciras (modelo CCR)

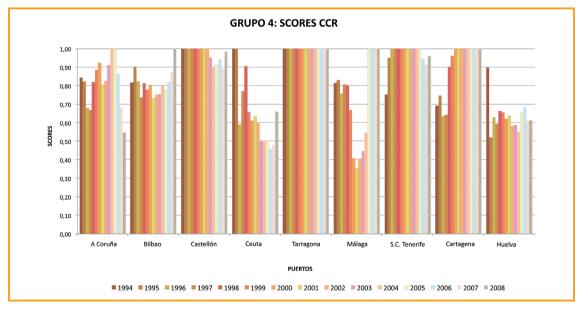
Del análisis de la eficiencia del GRUPO 4 (Tabla 2.23 y Gráfico 2.9) podemos concluir que:

- Este grupo, el más numeroso, comprende 9 puertos muy eficientes en general. Únicamente, los puertos de Ceuta y Huelva presentan niveles medios de eficiencia, con valores medios de sus scores algo superiores a 0,6.
- El líder del grupo es el puerto de Tarragona, el único del grupo que ha obtenido la máxima calificación (score unitario) durante todos los años comprendidos en el período analizado.
- Analizando la evolución de los scores a lo largo del tiempo, podemos concluir que la mayoría de los puertos de este grupo (a excepción de A Coruña) presenta una tendencia creciente en cuanto a niveles de eficiencia. Todo indica que, al margen de la actual crisis económica, la mayoría de puertos comprendidos en este grupo han sabido adaptar su nivel de actividad a su volumen de infraestructuras a lo largo de los últimos años.

Tabla 2.23. GRUPO 4. Scores de eficiencia (modelo CCR)

Grupo 4	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	MEDIA	DESV.
A Coruña	0,84	0,82	0,68	0,67	0,82	0,88	0,93	0,81	0,83	0,91	1	1	0,87	0,68	0,55	0,82	0,12
Bilbao	0,82	0,90	0,82	0,74	0,81	0,78	0,80	0,73	0,75	0,75	0,80	0,78	0,82	0,88	1	0,81	0,07
Cartagena	0,69	0,75	0,64	0,64	0,90	0,96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,91	0,14
Castellón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,95	0,90	0,92	0,94	0,89	0,98	0,97	0,04
Ceuta	1	1	0,59	0,77	0,91	0,66	0,61	0,64	0,60	0,50	0,51	0,50	0,46	0,48	0,66	0,66	0,18
Huelva	0,90	0,52	0,63	0,59	0,66	0,66	0,62	0,64	0,58	0,59	0,55	0,66	0,69	0,61	0,62	0,63	0,08
Málaga	0,81	0,83	0,76	0,81	0,80	o <b>,</b> 67	0,41	0,35	0,41	0,45	0,55	1	1	1	1	0,72	0,23
S.C.Tene- rife	0,75	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,95	0,91	0,96	0,97	0,06
Tarragona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Gráfico 2.9. Scores de eficiencia GRUPO 4 (modelo CCR)



Fuente: elaboración propia

### 2.3.4. Caracterización detallada del grupo principal

En este epígrafe vamos a proceder a caracterizar los diferentes puertos que, desde nuestro punto de vista, configuran el principal grupo portuario como consecuencia del análisis de la estructura del Sistema Portuario Español.

Este grupo está compuesto por 7 puertos: Bahía de Algeciras (BAG), Baleares (BAL), Barcelona (BAR), Las Palmas (LPL), Melilla (MEL), Valencia (VAL) y Vigo (VIG), que aunque poseen como común denominador un claro predominio del tráfico de mercancía general (MG) frente a otros tráficos graneleros, presentan importantes diferencias en cuanto a niveles de actividad y estructuras portuarias. Para corroborar este hecho, hemos representado gráficamente (*Gráfico* 2.10) la relación que existe entre las variables empleadas como input u outputs en el análisis de la eficiencia técnica de los puertos, es decir, el inmovilizado neto (miles de euros) y el tráfico total (miles de Tn.) en términos generales (sin diferenciar por tipos), en el ejercicio 2008.

Con el fin de complementar esta información y poder ampliar la caracterización de este grupo de puertos, en los *Gráficos* 2.11 y 2.12 mostramos la evolución en los tráficos -desglosados por graneles líquidos (GL), graneles sólidos (GS) y mercancía general (MG)- y el crecimiento de las infraestructuras de los citados puertos (evolución del inmovilizado neto), respectivamente, para el horizonte temporal analizado.

Observando el *Gráfico* 2.10 podemos deducir que los puertos que obtuvieron los peores scores de eficiencia en el estudio de la eficiencia sectorial del SPE (*Tabla* 2.19) son los más pequeños del grupo: Melilla y Vigo. No obstante, el tamaño no es una variable decisiva a la hora de ser más o menos eficiente, puesto que el siguiente puerto en tamaño –Baleares- aunque presenta unas dimensiones reducidas en comparación con otros puertos del grupo (como por ejemplo, Barcelona o Valencia), obtuvo el máximo nivel de eficiencia en el análisis efectuado. Estos resultados no deben asombrarnos ya que el puerto de Baleares, con un 52% más de inmovilizado neto que el puerto de Vigo, presentó en el 2008 un nivel de actividad superior a la de éste último en un 168%, en términos de tráficos totales.

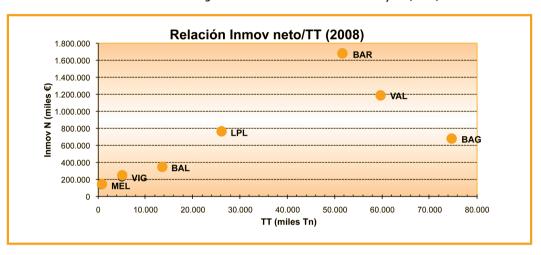


Gráfico 2.10. GRUPO 3. Relación entre Inmovilizado Neto y TT (2008)

Queremos destacar la posición del puerto de Bahía de Algeciras en relación al resto de puertos que componen el grupo. Se trata de una unidad que difiere en gran medida del resto, puesto que, por su posición estratégica y su idiosincrasia, consigue gestionar un gran volumen de tráficos con una infraestructura menor que el resto de puertos que integran el grupo. Este "comportamiento diferente" es el que ha determinado en gran medida el nivel de eficiencia del resto de unidades y por ello, ha sido catalogada como unidad influyente dentro del grupo.

Dentro de este grupo, los otros dos puertos que alcanzaron los máximos niveles de eficiencia en todo el período analizado (tras excluir el puerto de Bahía de Algeciras) son Barcelona y Valencia. Ambos puertos se caracterizan por presentar crecimientos espectaculares en sus infraestructuras (*Gráfico* 2.12), sobre todo a partir del 2005, que han ido de la mano de un aumento en sus niveles de actividad (*Gráfico* 2.11). A este respecto, podemos añadir que el puerto de Barcelona ha incrementado su inmovilizado neto en más del 86% en los últimos años del período analizado<sup>22</sup>, lo que le ha permitido un aumento en el volumen de

(22) Período 2003-2008.

sus tráficos del 45,8%. De igual forma, el puerto de Valencia ha experimentado un gran crecimiento en sus infraestructuras, del 87,6%, que le ha llevado a un incremento en sus tráficos del 68,9% en el año 2008 respecto a las cifras del 2003.

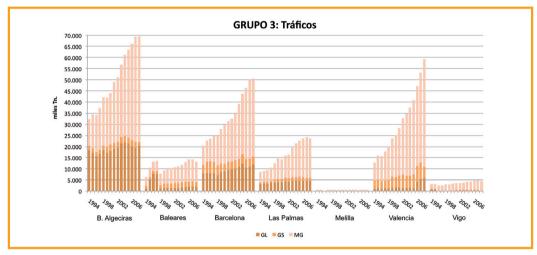


Gráfico 2.11. GRUPO 3. Tráficos totales por tipos (GS, GL y MG)

Fuente: elaboración propia

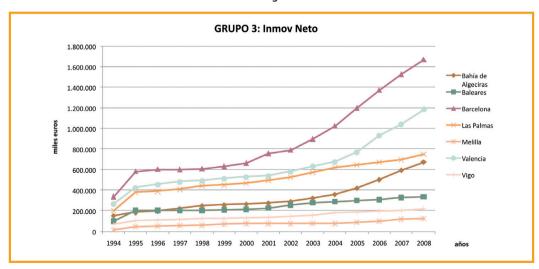


Gráfico 2.12. GRUPO 3. Inmovilizado Neto

Fuente: elaboración propia

No obstante, sin menospreciar el esfuerzo realizado por ambas Autoridades Portuarias en el incremento y mejora de sus infraestructuras y servicios, queremos destacar que, tal y como se observa en el *Gráfico* 2.10, el puerto de Valencia consiguió un mayor volumen de tráfico total contando con una infraestructura algo inferior a la del puerto de Barcelona. Por esta razón, el puerto de Valencia ha sido clasificado como el más eficiente del grupo después de Bahía de Algeciras, y como uno de los más eficientes si no consideramos a este último en el análisis (*Tabla* 2.22).

En definitiva, dejando al margen el puerto de Bahía de Algeciras, podemos afirmar que los puertos de Barcelona y Valencia son dos puertos que compiten firmemente en cuanto a infraestructuras, innovación y tráficos. Su situación geográfica los posiciona como líderes indiscutibles en el eje mediterráneo y ratifica este espíritu competitivo.

#### 2.3.5. Conclusiones

Tras el análisis de la eficiencia de los diferentes grupos definidos podemos concluir, a modo de resumen, lo siguiente:

**Primero.** La agrupación geográfica de las Autoridades Portarías no resulta significativa a la vista de los resultados del test de *Kruskal-Wallis*, lo cual era previsible ya que las diferentes fachadas presentan puertos de todas las tipologías. Por ello, se ha descartado seguir con este tipo de agrupaciones en el análisis de la eficiencia sectorial del Sistema Portuario Español.

Segundo El Sistema Portuario Español presenta una clara estructura que coincide con la clasificación tradicional de los puertos en función de sus tráficos (graneleros sólidos o líquidos, puertos en los que predomina el tráfico de mercancía general o puertos mixtos). Los grupos pioneros en cuanto a rentabilidad económica y niveles de actividad, han sido básicamente aquellos que han conseguido una mayor especialización en el tráfico de sus graneles, mientras que los puertos más diversificados pertenecen a grupos con peores resultados.

**Tercero.** La aplicación de la metodología DEA para el análisis de la eficiencia relativa de cada uno de los cuatro grupos definidos previamente, pone de manifiesto que la mayoría de puertos mejoran su nivel de eficiencia relativa si se comparan dentro del grupo al que pertenecen, esto es, con otros puertos homogéneos.

**Cuarto.** De los cuatro grupos delimitados, el calificado como GRUPO 3 es el que mejores resultados presenta en el estudio sectorial de la eficiencia. Dicho grupo está compuesto por 7 puertos (Bahía Algeciras, Baleares, Barcelona, Las Palmas, Melilla, Valencia y Vigo) que trafican principalmente con mercancía general. Se trata de un conjunto de puertos muy rentables con un nivel de actividad bajo con respecto al inmovilizado que poseen, lo que nos hace presuponer que puede ser el grupo con mayor crecimiento potencial en el futuro.

**Quinto.** Dentro del GRUPO 3, y al margen del puerto de Bahía de Algeciras, merecen especial atención los puertos de Barcelona y Valencia por presentar los niveles máximos de eficiencia en el período analizado. Ambos puertos se caracterizan por haber realizado un gran esfuerzo expansivo, con crecimientos espectaculares en sus infraestructuras (sobre todo a partir del 2005), que han sido acompañados de incrementos importantes en su actividad. No obstante, el puerto de Valencia ha sido clasificado como el más eficiente del grupo, después de Bahía de Algeciras, por haber conseguido un mayor volumen de tráfico total contando con una infraestructura algo inferior a la del puerto de Barcelona.

En definitiva, como hemos comentado anteriormente, los puertos de Barcelona y Valencia son dos puertos líderes en el eje mediterráneo, que compiten firmemente en cuanto a infraestructuras, innovación y tráficos.

## 2.4. Evolución de la eficiencia durante el período 1994-2008

#### 2.4. L. Diseño del análisis

En este epígrafe proponemos dos metodologías diferentes y complementarias, basadas en el análisis DEA, para el estudio de la evolución del nivel de eficiencia de los distintos puertos pertenecientes al SPE a lo largo del horizonte temporal considerado: el **Índice de Malmquist** y la técnica del **DEA-Window.** 

El primero de estos métodos, el Índice de Malmquist (Malmquist, 1953) mide las variaciones en la eficiencia de cada una de las unidades, distinguiendo si el cambio en la productividad de una unidad es debido al cambio en su eficiencia técnica (CE) como consecuencia de va-

riaciones en sus inputs o outputs, o bien, es causado por el desplazamiento de la frontera tecnológica o *cambio tecnológico (CT)*<sup>23</sup>.

El segundo método es el Análisis Windows o DEA-Window (Charnes et al., 1985) es una extensión del DEA tradicional que analiza la evolución de la eficiencia de las diferentes unidades consideradas, tomando como referencia distintos intervalos de tiempo a los que se les denomina "ventanas".

Para la aplicación de ambas metodologías, analizamos la eficiencia del conjunto de puertos pertenecientes al SPE a través del modelo CCR que, como es conocido, presupone rendimientos constantes a escala para los puertos analizados. Aunque podríamos haber considerado la hipótesis de rendimientos variables a escala para las distintas unidades (modelo BCC), hemos preferido la aplicación del modelo CCR por la robustez de sus resultados.

Como amplitud de la "ventana", o lo que es lo mismo, el número de periodos de tiempo que entran en comparación, hemos utilizado intervalos de cinco años. En consecuencia hemos aplicado las metodologías descritas en tres tramos diferentes: 1994-1998, 1999-2003 y 2004-2008.

A continuación presentamos los resultados obtenidos tras la aplicación de ambas metodologías a la totalidad de puertos pertenecientes al SPE.

# 2.4.2. Cálculo del Índice de Malmquist de productividad de la actividad portuaria

Para el cálculo del Índice de Malmquist hemos procedido a aplicar la ecuación [2.19] anteriormente definida, en la que puede observarse la descomposición en el cambio en la productividad de la unidad  $h_{\scriptscriptstyle 0}$  como resultado del producto del cambio en eficiencia técnica (CE) por el cambio debido al progreso técnico (cambio tecnológico: CT).

(23) Los fundamentos teóricos y las ecuaciones que desarrollan la aplicación del Índice de Malmquist están desarrollados en el epígrafe 2.1.6.

$$M_0(y_t, x_t, y_{t+1}, x_{t+1}) = \frac{d_0^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_0^t(y_t, x_t)} \left[ \frac{d_0^t(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_0^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})} \times \frac{d_0^t(y_t, x_t)}{d_0^{t+1}(y_t, x_t)} \right]^{\frac{1}{2}} = CE \times CT$$
 [2.19]

En primer lugar, en la *Tabla* 2.24, presentamos los valores obtenidos para el *Índice de Malmquist* considerando la globalidad del horizonte temporal analizado y desglosando sus componentes (CE y CT). Posteriormente, en la *Tabla* 2.24 hemos recalculado el índice para los tres intervalos temporales propuestos: 1994-1998, 1999-2003 y 2004-2008.

Tabla 2.24. Índice de Malmquist (período 1994-2008)

	CE	СТ	I. Malquist = CExCT
A Coruña	0,67	3,89	2,60
Alicante	0,30	7,59	2,26
Almería	0,56	5,56	3,12
Avilés	0,33	7,20	2,36
Bahía de Algeciras	1,00	6,95	6,95
Bahía de Cádiz	0,17	8,41	1,44
Baleares	0,40	9,29	3,69
Barcelona	1,01	8,13	8,19
Bilbao	0,39	4,40	1,73
Cartagena	1,43	3,77	5,39
Castellón	1,04	3,88	4,02
Ceuta	0,15	4,40	0,65
Ferrol-San Cibrao	1,46	5,86	8,55
Gijón	1,02	5,65	5,78
Huelva	0,58	3,73	2,16
Las Palmas	0,61	9,15	5,59
Málaga	0,21	5,67	1,20

	CE	СТ	I. Malquist = CExCT
Marín y Ría de Pontevedra	0,38	7,57	2,88
Melilla	0,18	10,50	1,85
Motril	0,91	4,47	4,07
Pasajes	0,17	7,59	1,30
S.C. Tenerife	0,43	4,50	1,95
Santander	0,24	6,60	1,62
Sevilla	0,32	7,21	2,32
Tarragona	0,54	3,82	2,07
Valencia	1,28	9,40	12,02
Vigo	0,35	9,78	3,44
Vilagarcía	0,81	6,16	5,01

De los resultados obtenidos tras el cálculo del Índice de Malmquist para todo el período considerado (*Tabla* 2.24), podemos concluir:

- 1. De las 28 Autoridades Portuarias existentes en el Sistema Portuario Español, tan sólo seis (Barcelona, Cartagena, Ferrol-S. Cibrao, Gijón, Castellón y Valencia) han obtenido un coeficiente superior a uno en el índice CE. Esto implica que tan sólo estas seis Autoridades Portuarias han conseguido ser más eficientes en si mismas a lo largo del horizonte temporal analizado, al situarse más cerca de la correspondiente frontera tecnológica. Como consecuencia, la mayoría de estos puertos han conseguido los mayores niveles de eficiencia en dicho período, esto es, los valores más altos del Índice de Malmquist total.
- 2. Cabe destacar que la variable que mide el cambio tecnológico (CT) es muy alta en el período considerado. En general, el CT es superior a la unidad en todas las unidades de la muestra (no hay estancamiento ni retroceso tecnológico), tomando valores que oscilan entre 3,7 y 10,50 en el mejor de los casos. Este hecho implica que ha

habido desplazamientos en la frontera productiva con respecto a la cual se mide la eficiencia de cada unidad, lo que significa la existencia de un gran avance tecnológico desde 1994 hasta 2008, como era previsible.

- 3. Una vez más ponemos el punto de mira en la Autoridad Portuaria de Bahía Algeciras. Esta unidad, calificada como influyente en los análisis anteriores, ha mantenido siempre un nivel de eficiencia máximo. Este resultado es coherente con el obtenido al aplicar el Índice de Malmquist: por una parte, el valor dado por el cambio en la eficiencia (CE) es uno, lo que implica que no ha tenido cambios en la eficiencia técnica. Evidentemente, si siempre ha obtenido un score unitario en todos los períodos su nivel de eficiencia no ha variado. Por otra parte, el índice que mide el cambio tecnológico (CT) es de 6,96, lo que supone un nivel medio de progreso técnico. Esto nos da, lógicamente, un Índice de Malmquist de 6,95, muy próximo a la media de los valores obtenidos en dicho índice
- 4. Del total de puertos analizados, el mayor valor del *Índice de Malmquist* corresponde al puerto de Valencia. Esta unidad presenta uno de los mejores valores en la variable que mide el cambio en la eficiencia técnica (CE = 1,28) y al mismo tiempo ha experimentado un incremento importante a nivel tecnológico (CT = 9,40) lo que proporciona un valor igual a 12,02 en el Índice de Malmquist. Podemos afirmar, por tanto, que según esta metodología el puerto de Valencia es el que más ha mejorado su eficiencia global, durante el intervalo temporal analizado.

Tabla 2.25. Índice de Malmquist por intervalos (1994-1998, 1999-2003, 2004-2008)

	1994-1998				1999-20	03	2004-2008			
	CE	СТ	I. Malm- quist	CE	СТ	I. Malm- quist	CE	СТ	I. Malm- quist	
A Coruña	0,71	1,47	1,05	1,75	0,78	<b>1,</b> 37	0,89	0,67	0,60	
Alicante	0,61	2,34	1,43	1,12	0,53	0,60	0,74	0,68	0,51	
Almería	0,87	2,16	1,87	1,03	0,95	0,98	0,47	o <b>,</b> 86	0,41	
Avilés	0,54	2,37	1,28	1,38	0,69	0,96	1,00	0,69	0,69	
Bahía de Algeciras	1,00	2,01	2,01	1,00	1,05	1,05	1,00	0,65	0,65	
Bahía de Cádiz	0,41	2,45	1,01	1,48	0,89	1,32	1,23	0,67	0,83	
Baleares	0,74	2,48	1,83	1,04	1,01	1,05	1,41	o <b>,</b> 66	0,93	
Barcelona	1,00	2,40	2,41	0,92	1,04	0,95	1,25	0,66	0,82	
Bilbao	0,69	1,60	1,11	1,02	0,98	1,00	1,37	0,81	1,10	
Cartagena	1,33	1,50	1,99	1,24	1,02	1,26	1,00	0,94	0,94	
Castellón	1,20	1,58	1,91	0,71	0,98	0,69	1,00	0,87	0,87	
Ceuta	0,67	1,58	1,05	0,18	0,97	0,17	2,17	0,66	1,44	
Ferrol-San Cibrao	1,85	2,38	4,41	1,00	0,52	0,52	1,18	0,75	0,89	
Gijón	0,67	2,37	1,58	1,99	0,51	1,02	0,46	0,72	0,33	
Huelva	0,84	1,59	1,34	1,25	0,88	1,10	1,15	0,89	1,03	
Las Palmas	0,87	2,55	2,22	1,20	1,11	1,33	1,39	0,66	0,92	
Málaga	0,94	1,58	1,48	0,22	0,76	0,17	1,85	0,67	1,24	
Marín y Ría Pontevedra	0,79	2,36	1,87	1,34	0,80	1,07	1,17	0,67	0,79	
Melilla	0,45	2,63	1,18	0,62	1,15	0,71	0,95	0,67	0,63	
Motril	1,21	1,82	2,19	0,88	0,81	0,71	0,61	0,86	0,53	
Pasajes	0,42	2,35	0,99	2,21	0,72	1,60	1,23	0,67	0,83	
S.C. Tenerife	0,84	1,56	1,31	1,01	0,98	0,99	1,08	0,74	0,79	

		1994-19	98		1999-20	03	2004-2008			
	CE	СТ	I. Malm- quist	CE	СТ	I. Malm- quist	CE	СТ	I. Malm- quist	
Santander	0,61	2,27	1,39	1,67	0,62	1,03	1,31	o <b>,</b> 68	0,89	
Sevilla	0,53	2,31	1,22	2,03	0,70	1,42	1,02	0,67	0,69	
Tarragona	0,83	1,53	1,28	1,05	0,92	0,96	1,01	o <b>,</b> 88	0,89	
Valencia	0,94	2,47	2,33	1,31	1,05	1,38	1,26	o <b>,</b> 66	0,83	
Vigo	0,70	2,50	1,76	1,02	1,06	1,08	1,33	o <b>,</b> 66	0,88	
Vilagarcía	0,86	2,21	1,90	2,17	0,74	1,60	0,80	0,75	0,60	

El análisis detallado de los resultados presentados en la *Tabla* 2.25, tras el cálculo del *Índice de Malmquist* para los intervalos considerados, nos lleva a las siguientes conclusiones:

I. Al desglosar los cálculos de los índices en tres tramos, podemos observar que los resultados se modifican considerablemente. El primer aspecto que llama nuestra atención es el hecho de que la variable que mide el progreso tecnológico (CT) es mucho mayor en los primeros años (obteniendo valores comprendidos entre 1,5 y 2,5, aproximadamente). En el segundo intervalo, únicamente ocho puertos experimentan avance en la tecnología (CT mayor a uno) y en el tercer tramo todos los puertos sufren regreso técnico o pérdida de productividad (CT inferior a la unidad).

Esto nos lleva a concluir que es a finales de la década de los noventa cuando mayor crecimiento y avance tecnológico experimentan la gran mayoría de puertos pertenecientes al Sistema Portuario Español. Este desarrollo se ve mermado al entrar en el siglo XXI; a partir del año 2003 todos los puertos registran pérdidas de productividad consecuencia de un gran esfuerzo inversor a nivel inmobiliario que

no se ve acompañado en un crecimiento en la misma intensidad de su actividad. Este hecho se ha visto acentuado a finales del período analizado por la gran crisis económica que redujo considerablemente los incrementos en los tráficos de las principales Autoridades Portuarias, llegando a cifras negativas en las variaciones del tráfico total de algunos puertos, como el de Alicante (-23,25%), Bahía de Cádiz (-30,17%) o Málaga (-25,99 %)<sup>24</sup>.

- 2. Respecto al cambio en la eficiencia técnica (CE), tan sólo cuatro puertos (Cartagena, Motril, Ferrol-S. Cibrao y Castellón) obtuvieron un valor de CE mayor que I en el primer tramo. En consecuencia, en los primeros años del análisis no hay grandes cambios en la eficiencia de los puertos en sí mismos y, como hemos señalado, las variaciones en el nivel de eficiencia global se debe a cambios tecnológicos. En el segundo tramo, en cambio, el 71% de los puertos tienen un CE superior a uno lo que nos indica que la gran mayoría de puertos es más eficiente durante estos años. Esta tendencia se mantiene y en el último intervalo el 78% de los puertos experimenta un aumento de su eficiencia técnica.
- 3. De nuevo debemos hacer mención del puerto de Bahía de Algeciras, por su relevante papel en el análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español. Los resultados del cálculo del Índice de Malmquist por tramos corroboran las conclusiones anteriores, considerando el horizonte temporal en su totalidad. Este puerto sigue teniendo un valor unitario en el cambio en eficiencia (CE = I) lo que implica que no ha mejorado su eficiencia técnica en ninguno de los tramos del estudio puesto que los scores de eficiencia de este puerto siempre se han situado en su nivel máximo. El cambio tecnológico de Bahía de Algeciras sigue la

(24) Variación en el tráfico total de las Autoridades Portuarias señaladas para el período 2007-2008. tendencia general descrita anteriormente: el progreso tecnológico es mayor en los primeros años llegando incluso a pérdidas de productividad en los últimos años.

#### 2.4.3. Análisis DEA-Windows

El Análisis Windows o DEA-Windows relaciona los inputs y outputs de las diferentes unidades tomando distintos intervalos de tiempo o "ventanas". Para la aplicación de este análisis, hemos analizado la eficiencia del conjunto de puertos pertenecientes al SPE a través del modelo CCR para los tres tramos definidos anteriormente: 1994-1998, 1999-2003 y 2004-2008.

El análisis ha sido realizado tomando como amplitud de la "ventana" -o número de períodos que se comparan entre sí- diferentes medidas<sup>25</sup>, obteniendo similares resultados en todos ellos. Por ello, y con la finalidad de simplificar la exposición y facilitar la lectura de los resultados, a continuación presentamos únicamente los resultados correspondientes a ventanas de un sólo período.

Los scores o niveles de eficiencia obtenidos para las distintas unidades analizadas se presentan en la *Tabla* 2.25, incorporando la media de los scores como medida representativa del conjunto, junto con la desviación típica de los índices de eficiencia como indicadores de la estabilidad del resultado. Estos mismos resultados son representados gráficamente en el *Gráfico* 2.13 para un grupo seleccionado de puertos<sup>26</sup>.

A partir de la visión horizontal (o por filas) de la *Tabla* 2.26 y observando el *Gráfico* 2.13, es posible determinar la tendencia o conducta del conjunto de unidades. En concreto, las principales conclusiones que se derivan de los mismos son las siguientes:

- (25) En concreto, hemos aplicado el DEA-Windows considerando ventanas de 1, 2, 3 y 4 años.
- (26) Esta decisión tiene por objeto simplificar la representación gráfica de los resultados.

- I. Los resultados indican que la eficiencia relativa de todos los puertos del actual SPE ha fluctuado a lo largo del tiempo, a excepción de la Autoridad portuaria de Bahía de Algeciras. Esta ha sido la única unidad que ha permanecido en el máximo nivel de eficiencia durante todos los intervalos temporales analizados. Este hecho ratifica su categoría de unidad influyente en todo el sistema, como hemos corroborado en los epígrafes anteriores.
- 2. A este respecto, los puertos que más han variado su nivel de eficiencia a lo largo del tiempo, presentando mayores desviaciones estándar en los scores, son: los puertos de Ceuta, Málaga y Melilla, que han visto reducir drásticamente sus niveles de eficiencia a lo largo del período analizado; los puertos de Cartagena y Pasajes, que han tenido grandes variaciones en sentido contrario aumentando su eficiencia técnica con el paso del tiempo; y el puerto de Gijón, que aunque consiguió un nivel de eficiencia muy alto en torno al 2004, volvió a tener un gran descenso en el último intervalo considerado hasta situarse de nuevo en torno a los niveles de eficiencia iniciales.

Tabla 2.26. Resultados DEA-Windows

	1994	1999	2004	2008	MEDIA	DESV TIP.
A Coruña	0,586	0,683	0,821	0,389	0,620	0,157
Alicante	0,303	0,186	0,242	0,214	0,236	0,043
Almería	1	0,891	1	0,742	0,908	0,106
Avilés	0,442	0,330	0,597	0,597	0,491	0,113
Bahía de Algeciras	1	1	1	1	1	О
Bahía de Cádiz	0,265	0,154	0,245	0,302	0,241	0,055
Baleares	0,534	0,374	0,344	0,484	0,434	0,078
Barcelona	0,365	0,309	0,259	0,324	0,314	0,038
Bilbao	0,311	0,290	0,363	0,496	0,365	0,080
Cartagena	0,523	0,818	1	1	0,835	0,195
Castellón	1	1	0,708	0,705	0,853	0,147

	1994	1999	2004	2008	MEDIA	DESV TIP.
Ceuta	0,904	0,321	0,101	0,218	0,386	0,309
Ferrol-San Cibrao	0,939	1	0,847	1	0,946	0,063
Gijón	0,324	0,432	0,934	0,432	0,530	0,237
Huelva	0,506	0,422	0,502	0,577	0,502	0,055
Las Palmas	0,306	0,242	0,253	0,351	0,288	0,044
Málaga	0,673	0,669	0,199	0,368	0,477	0,203
Marín y Ría de Ponte- vedra	0,220	0,316	0,314	0,367	0,304	0,053
Melilla	0,555	0,104	0,077	0,073	0,202	0,204
Motril	0,552	0,605	0,600	0,367	0,531	0,097
Pasajes	0,261	0,270	0,539	0,660	0,432	0,172
S.C. Tenerife	0,310	0,326	0,338	0,364	0,334	0,020
Santander	0,214	0,137	0,228	0,298	0,219	0,057
Sevilla	0,169	0,109	0,181	0,185	0,161	0,031
Tarragona	0,637	0,717	0,905	0,915	0,793	0,120
Valencia	0,432	0,429	0,506	0,636	0,501	0,084
Vigo	0,371	0,255	0,218	0,291	0,284	0,056
Vilagarcía	0,150	0,168	0,311	0,249	0,219	0,065

3. Centrándonos en los mejores resultados, al margen del puerto de Bahía de Algeciras, los puertos con mayores niveles de eficiencia a lo largo del horizonte temporal contemplado son: Almería, Cartagena, Castellón, Ferrol-S. Cibrao y Tarragona. Aunque todos ellos tienen un score medio igual o superior al 0,8, no todos han presentado la misma evolución en sus niveles de eficiencia técnica a lo largo del tiempo. En concreto, los puertos de Cartagena y Tarragona son los que mayores mejoras han presentado, consiguiendo su máxima calificación en los últimos años.

4. Mención especial merece el puerto de Valencia, por nuestra cercanía y su posición relevante en los análisis previos. Este puerto no ha destacado en la evolución de sus niveles de eficiencia a lo largo del período analizado, ni tampoco ha destacado por ser uno de los más eficientes al aplicar el Window Analysis. No obstante, la tendencia presentada en la evolución de su nivel de eficiencia técnica es creciente a lo largo de todo el horizonte temporal, con niveles medios superiores a otros puertos similares como, por ejemplo, el puerto de Barcelona o el de Las Palmas, lo que nos hace creer que puede ofrecer grandes mejoras en el futuro.

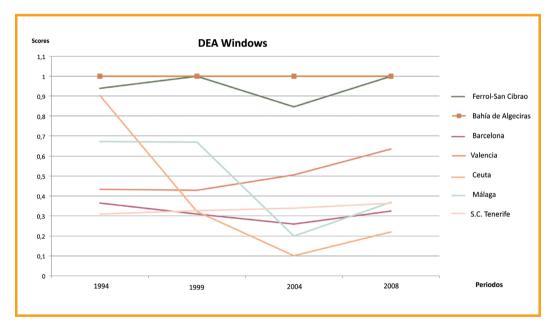


Gráfico 2.13. Resultados DEA-Windows para algunos puertos

Fuente: elaboración propia

#### 2.4.4. Conclusiones

A modo de resumen, tras el análisis de la evolución temporal de la eficiencia de los puertos a lo largo del horizonte considerado, podemos concluir lo siguiente:

**Primero.** Los resultados obtenidos a partir de las metodologías aplicadas (índice de Malmquist y Window Analysis) corroboran la idea intuitiva de que la eficiencia relativa de todos los puertos del actual SPE no ha sido invariable desde 1994 hasta el 2008, sino que ha ido evolucionando con el paso del tiempo.

Como única excepción a este hecho, cabe señalar la Autoridad Portuaria de Bahía de Algeciras, que ha permanecido en el máximo nivel de eficiencia en todo el período lo que ratifica su categoría de unidad influyente en todo el sistema.

**Segundo.** Los cálculos del índice de Malmquist y sus subíndices, para todo el horizonte temporal contemplado, ratifican que la frontera productiva (con respecto a la cual se mide la eficiencia relativa de cada unidad) se ha desplazado, lo que supone que ha existido un gran avance tecnológico desde 1994 hasta 2008.

Profundizando más en esta cuestión, al desglosar el horizonte temporal total analizado en intervalos de cinco años, podemos concluir que es a finales de la década de los noventa cuando mayor crecimiento y avance tecnológico experimentan la gran mayoría de puertos pertenecientes al SPE. Este desarrollo se ve mermado al entrar en el siglo XXI y retrocede a partir del 2004. En los cinco últimos años del análisis no sólo no ha existido progreso tecnológico sino que se ha dado lo que podríamos llamar "regreso técnico", puesto que todos los puertos registran pérdidas de productividad como consecuencia de un gran esfuerzo inversor que no ha sido acompañado de un crecimiento paralelo en su actividad.

De hecho, la gran crisis económica general que estamos sufriendo ha alcanzado al sector portuario reduciendo considerablemente el volumen de tráfico de la mayoría de Autoridades Portuarias, llegando a decrementos del tráfico total superiores al 20%<sup>27</sup> en algunos puertos, como Alicante, Bahía de Cádiz o Málaga.

(27) Variaciones en el tráfico total para el período 2007-2008.

**Tercero.** De las 28 Autoridades Portuarias que conforman el actual Sistema Portuario Español, tan sólo seis (Barcelona, Cartagena, Ferrol-S. Cibrao, Gijón, Castellón y Valencia) han conseguido ser más eficientes en si mismas a lo largo del horizonte temporal analizado, al situarse más cerca de la correspondiente frontera tecnológica. Como consecuencia, estas unidades han resultado calificadas como las más eficientes al medir la evolución temporal de su eficiencia técnica a través del índice de Malmquist.

**Cuarto.** Respecto a lo anterior, cabe añadir que el puerto de Bahía de Algeciras, en consonancia con los resultados obtenidos a partir de las metodologías aplicadas previamente, no ha mejorado su eficiencia técnica a lo largo del período considerado puesto que los scores de eficiencia de este puerto siempre se han situado en su nivel máximo.

El cambio tecnológico de Bahía de Algeciras sigue la tendencia general descrita anteriormente: el progreso tecnológico es mayor en los primeros años llegando incluso a pérdidas de productividad en los últimos años.

**Quinto.** Los resultados obtenidos a partir del *Window Analysis* confirman que, al margen del puerto de Bahía de Algeciras, los puertos que más han mejorado su nivel de eficiencia a lo largo del horizonte temporal contemplado son Cartagena y Tarragona, al haber obtenido los mayores *scores* tras el análisis efectuado.

A continuación de estos dos puertos, en términos de evolución en sus niveles de eficiencia, destacan los puertos de Almería, Castellón y Ferrol-S. Cibrao.

**Sexto.** Finalizamos el capítulo volviendo de nuevo a destacar los resultados obtenidos por el puerto de Valencia.

Por una parte, el Índice de Malmquist revela que esta unidad es uno de los puertos que más ha mejorado su eficiencia técnica en todo el horizonte temporal contemplado, a la vez que ha experimentado un incremento importante a nivel tecnológico. Por tanto, según esta metodología, el puerto de Valencia es el que más ha mejorado su eficiencia global durante el intervalo temporal analizado.

Por otra parte, los resultados del *Window Analysis* revelan que este puerto no ha destacado en la evolución de sus niveles de eficiencia a lo largo del período analizado, ni ha sido el más eficiente. Sin embargo, la evolución en sus niveles de eficiencia refleja una tendencia creciente a lo largo del tiempo, superior a la de sus competidores, lo que deja abiertas grandes expectativas futuras.



# Introducción de la incertidumbre en el análisis de la eficencia

La metodología DEA determina la eficiencia de una serie de elementos o DMUs partiendo de una serie de datos fijos, sin hacer consideración alguna respecto a la exactitud de los mismos, los que supone exentos de incertidumbre.

En la práctica, la presunción de determinismo en los datos y de precisión al obtenerlos implica que cualquier error de cálculo, la inexactitud en la obtención de los datos o, simplemente, la falta de certeza en las variables empleadas podría alterar notablemente los resultados alcanzados. En definitiva, las conclusiones que se puedan derivar del análisis de eficiencia de las DMUs consideradas son muy sensibles a los errores en los datos y la influencia de factores externos sobre las variables seleccionadas.

En este sentido, las fronteras de eficiencia calculadas con la metodología DEA son estables si las DMUs que determinan dicha frontera siguen siendo eficientes aunque soporten perturbaciones en las variables que las definen. En otros casos, las unidades que sufren modificaciones en sus datos sufren, evidentemente, modificaciones en sus scores de eficiencia.

03

Para ilustrar este problema proponemos un sencillo ejemplo: consideremos 4 DMUs (A, B, C y D), con un input (II) y dos outputs (OI y O2) (*Tabla* I.I):

Tabla 3.1. Ejemplo (outputs e input)

DMU	O1	O2	11
А	125	50	18
В	110	44	16
С	80	55	17
D	75	30	11

Aplicando el análisis DEA en la forma descrita en los capítulos anteriores, obtenemos los scores recogidos en la tabla 3.2, indicativos del nivel de eficiencia de las distintas unidades:

Tabla 3.2. Ejemplo (scores de eficiencia)

DMU	SCORE
А	1
В	0,99
С	1
D	0,98

Fuente: elaboración propia

La ordenación jerárquica de las unidades consideradas, en función de los valores del índice de eficiencia obtenidos, nos indicaría que las unidades A y C son las mejores, e igualmente eficientes, seguidas de B y D.

Si suponemos una pequeña variación en alguno de los datos, por ejemplo, el output 2 (O2) de la DMU A crece un 20%, pasando de 50 a 60, obtendríamos nuevos valores para los índices de eficiencia, tal y como queda reflejado en la *tabla* 3.3. En consecuencia, llegaríamos a una nueva ordenación, en la que la unidad

(1) Los scores obtenidos tras la aplicación del análisis DEA no ordenan las DMUs, pero en muchas ocasiones son empleados para ilustrar un ranking u ordenación jerárquica de las DMUs analizadas.

A sería plenamente eficiente y mejor que B, que a su vez es mejor que D y ésta más eficiente que C.

Tabla 3.3. Ejemplo (nuevos scores de eficiencia)

DMU	SCORE
А	1
В	0,99
С	0,97
D	0,98

Fuente: elaboración propia

Como puede observarse una modificación en uno de los datos de la unidad A, afecta únicamente a la unidad C, que pasa de ser la más eficiente (compartida con la A) a ser la más ineficiente, o con el score más bajo de todas.

Una vez detectado el problema, los instrumentos y técnicas empleados para la incorporación de la incertidumbre en el análisis de la eficiencia de las DMUs consideradas han sido muy diversos, tanto en términos cuantitativos como en la metodología y enfoque utilizados. Sin la intención de profundizar y aplicar todas las técnicas desarrolladas y vigentes en nuestros días para el tratamiento de la incertidumbre en el estudio de la eficiencia técnica, comenzamos el presente capítulo recopilando las principales técnicas y modelos empleados con este fin en la literatura para, posteriormente, aplicar a nuestro estudio tres técnicas: el análisis bootstraping, el análisis de tolerancias y un modelo DEA con variables fuzzy.

El análisis bootstrapping, desarrollado en el epígrafe 3.2, es una técnica empleada por numerosos investigadores para introducir la incertidumbre en el estudio de la eficiencia. Junto a esta técnica proponemos la aplicación de una metodología alternativa basada en los modelos DEA: el análisis de tolerancias. La descripción, aplicación y conclusiones alcanzadas con el análisis de tolerancias son recogidas en el epígrafe 3.3. Seguidamente, trataremos la incertidumbre en los datos con un modelo DEA alternativo en el que los parámetros

inciertos son considerados como números fuzzy. Finalmente, concluimos este capítulo comparando los resultados obtenidos a partir de las distintas técnicas aplicadas.

## 3.1.Técnicas para el tratamiento de la incertidumbre en el análisis de la eficiencia

Expuesto el problema, cabe decir que durante las últimas décadas se han aplicado numerosas técnicas y métodos de distinta índole con el objeto de estudiar la sensibilidad o robustez del análisis de la eficiencia de las DMUs a las perturbaciones, errores o inexactitud en los datos empleados en el análisis. A este respecto, cabe señalar que únicamente vamos a hacer referencia a técnicas o modelos que consideran variaciones en las variables seleccionadas en el análisis de eficiencia y no vamos a entrar en detalle en otras técnicas que analizan la sensibilidad o estabilidad de la eficiencia cuando se modifica el número de DMUs analizadas o bien, cambian las hipótesis básicas del modelo empleado.

Uno de los procedimientos más citados en la literatura para especificar la dependencia entre los niveles de eficiencia de las DMUs y las variables analizadas es el **análisis de regresión** (Lowell et al. 1994; Ray 1991, Kooreman 1994; etc.). Con el objeto de explicar la distribución de los resultados del análisis de eficiencia DEA, el análisis de regresión relaciona las variaciones de los resultados mediante un grupo de variables explicativas (normalmente sobre alguna transformación de las variables originales) y evalúa los resultados de este análisis para determinar la bondad del ajuste. Como puede deducirse de forma inmediata, se está violando una de las hipótesis básicas del modelo, la independencia de los datos.

Otras de las técnicas propuestas para medir la sensibilidad o robustez de los resultados del análisis de eficiencia a través de la metodología DEA, consiste en generar datos factibles adicionales a través del método de *Bootstrap* desarrollado por Efron (Efron, 1979, 1982).

La técnica *Bootstrap*, o **Análisis** *Bootstrapping*, permite hallar intervalos de confianza en un contexto en el que no es posible determinar analíticamente la distribución muestral del estimador. Se trata de un método de "remuestreo" en el que, a partir de una muestra de tamaño n, se obtienen muestras del mismo tamaño extraídas de la distribución empírica de la muestra original, es decir, de una población finita formada con los elementos de la muestra original. Como ventaja fundamental, destacamos el hecho de que la aplicación de la metodología *Bootstrap* no necesita asumir la forma paramétrica de la distribución que genera los datos.

La simulación de las variables a partir del análisis *Bootstrapping* permite determinar la consistencia y estabilidad de los resultados, obteniendo en lugar de un único índice de eficiencia un intervalo o rango de eficiencia para cada una de las DMUs analizadas.

La aplicación del análisis DEA a los datos proporcionados por la metodología del *Bootstrap*, con la finalidad de comprobar la robustez de los resultados del estudio de la eficiencia de las DMUs consideradas, es extensa (Bonilla et al. 2002; González et al. 2002; Löthgren 1998; Staat 2002; Tortosa et al. 2008; etc.). De entre todos ellos, y por su estrecha relación con el objeto de la presente obra, cabe destacar el trabajo de Bonilla et al. (2002) en el que se analiza la estabilidad de la eficiencia del Sistema Portuario Español aplicando la metodología del DEA a las muestras obtenidas a partir de la técnica del *Bootstrapping*, obteniéndose intervalos de confianza para la eficiencia de cada uno de los puertos considerados en el estudio.

Un tercer método para tratar la incertidumbre en los datos empleados en el análisis DEA son los modelos "chance constrained DEA". La programación "chance constrained" desarrollada inicialmente por Charnes y Cooper en 1963 es una metodología aplicable a problemas de optimización bajo incertidumbre, en los casos en los que algunos o todos los coeficientes de un programa lineal son variables aleatorias que siguen determinada ley de probabilidad.

La programación "chance constrained" es incorporada por primera vez a los modelos DEA por Olesen y al. (1995) convirtiendo así la metodología DEA tradicional en un modelo de programación estocástica. Si el modelo DEA tradicional parte de observaciones de los diferentes inputs y outputs seleccionados para cada DMU, el modelo DEA con "chance constraints" supone regiones o intervalos de confianza para cada DMU.

Siguiendo otra línea de actuación, desde la primera aplicación del **análisis DEA con sensibilidad** desarrollado por Charnes et al. (1985), en el que se examina cómo afecta a la eficiencia de las DMUs el cambio en un único output, se han sucedido numerosos artículos en los que se asume cambios individuales o simultáneos en los inputs y/o outputs de las DMUs consideradas. Así, por ejemplo, Charnes y Neralic (1990) aplican un DEA con análisis de sensibilidad en el que se establecen las condiciones suficientes para que el cambio simultáneo de todos los outputs e inputs mantenga el nivel de eficiencia de una DMU.

Otros autores han analizado la sensibilidad a la eficiencia de las DMUs con la metodología DEA, ante la variación de las variables consideradas, empleando técnicas de **supereficiencia** (Andersen y Petersen, 1993) en las que se supone cambios proporcionales en todos los inputs y outputs de la DMU especificada (Charnes et al, 1992; Charnes et al, 1996) o bien, cambios individuales en dichas variables (Zhu, 1996; Seiford y Zhu, 1999). Continuando con la investigación planteada, Jahanshahloo et al. (2005) analizan cómo se ve modificada la eficiencia de una sola DMU mientras que la eficiencia del resto de DMUs no se altera, teniendo en cuenta diferentes escenarios.

A diferencia de los estudios mencionados, en los que se analiza cómo afecta la variación en los datos sobre una sola DMU, suponiendo que las demás permanecen constantes, existen estudios más realistas en los que se considera la posibilidad de que todas las DMUs se vean afectadas. Así, por ejemplo, Seiford y Zhu (1998b) extienden estudios previos y consideran el caso de que una DMU pueda empeorar su eficiencia mientras el resto la mejora.

Como alternativa a los procesos comentados anteriormente, existe la posibilidad de tratar la incertidumbre, tanto en los inputs como en los outputs, en el análisis de la eficiencia de un conjunto de DMUs a través de extensiones del análisis DEA. En concreto, nos referimos al **análisis DEA con tolerancias**<sup>2</sup> en el que se introduce la incertidumbre en las variables definiendo tolerancias o posibles variaciones en inputs y/o outputs para la totalidad de DMUs consideradas.

Por último, cabe señalar la posibilidad de aplicar la programación matemática fuzzy para el tratamiento de la incertidumbre propia de los inputs y/o outputs seleccionados en el análisis de la eficiencia de las DMUs seleccionadas. En este contexto, algunos autores (Guo y Tanaka, 2001; León et al. 2003; Sirvent, I. 2000; entre otros) han desarrollado modelos DEA fuzzy que

(2) Ver Bonilla et al. (2004).

permiten evaluar la eficiencia de un conjunto de unidades mediante técnicas más ajustadas a la realidad.

A continuación, en los siguientes epígrafes, ofrecemos una descripción más detallada de tres de las metodologías propuestas para el análisis de la eficiencia técnica bajo incertidumbre<sup>3</sup> —el análisis bootstrapping, el DEA con tolerancias estadísticas y el modelo DEA fuzzy- junto con los resultados logrados tras su aplicación. Concluiremos el capítulo ofreciendo una comparativa de los resultados obtenidos tras la aplicación de dichas metodologías.

## 3.2. Análisis Bootstrapping. Aplicación al Sistema Portuario Español

Como ya se ha reconocido inicialmente, una limitación del análisis DEA es la dependencia del resultado obtenido con los datos disponibles. Cualquier anomalía o inexactitud en los datos repercute de forma notable en los resultados. Una forma de solventar este inconveniente es aplicar el **método de Bootstrap**, desarrollado por Efron (Efron, 1979), el cual se ha convertido en una poderosa herramienta para el análisis estadístico. Aunque es un método de calculo intensivo, el uso de los ordenadores ha simplificado y popularizado el uso de esta técnica.

El método Bootstrap es una de las técnicas más empleadas en el análisis de la eficiencia bajo condiciones de incertidumbre<sup>4</sup>, para obtener intervalos de confianza en aquellos casos en los que resulta imposible hallar la distribución muestral del estimador. Se trata de un método estadístico basado en el "remuestreo" en el que, a partir de una muestra de tamaño n, se obtienen muestras del mismo tamaño extraídas de la distribución empírica de la muestra original.

Como ventaja fundamental, destacamos el hecho de que la aplicación de la metodología *Bootstrap* no necesita asumir la forma paramétrica de la distribución que genera los datos.

- (3) Estas tres técnicas son las que, desde nuestra óptica, mejor se ajustan a la realidad de los outputs e input empleados en el estudio de la eficiencia de los puertos que conforman el SPE.
- (4) Ver Bonilla et al. 2002; González et al. 2002; Löthgren 1998; Staat 2002; Tortosa et al. 2008; etc

El problema de resolver por bootstrapping es principalmente un problema de estimación. Consideremos  $\underline{X} = (X_1, X_2, ..., X_n)$  con  $X_i$  una variable aleatoria independiente y distribuida según  $F_i$ , i = 1, 2, ..., n. El objetivo es estimar la distribución de una variable  $R = R(\underline{X})$  a partir de los datos D, tal y como se observa en la ecuación [3.1]:

$$D = \begin{pmatrix} X_{1 1} & \dots & X_{n 1} \\ . & \dots & . \\ X_{1 m} & \dots & X_{n m} \end{pmatrix} = (\underline{X}_{1 m}, \underline{X}_{n})$$
 [3.1]

Donde  $\underline{X}_i = (X_{i,1}, X_{i,2,...,}, X_{i,m})^t$  es un vector con m realizaciones de la variable  $X_i$ , i = 1, 2, ..., n.

Los principios en los que se basa este método son simples, y los podemos resumir en tres pasos:

**Paso I.** Construir una distribución de probabilidad empírica  $F_i$ , a partir de  $X_i$  asignando a cada valor una probabilidad de I/m, i = 1, 2, ..., n.

**Paso 2.** Simular una muestra de tamaño M de las variables  $X_i^* \sim F_i$ ' independientes para cada i = 1, 2, ..., n.

La muestra  $D^* = (\underline{X_1^*,....,\underline{X_n^*}})$  con  $\underline{X_1^*} = (X_{i,1}^*, X_{i,2,...,}^*, X_{i,M}^*)$ , i = 1, 2, ..., n, se denomina muestra bootstrap.

**Paso 3.** Calcular  $r_i^* = R(X_{i_1, \dots, i_n}^*)$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ . La distribución de R que buscábamos es aproximada por la distribución empírica de  $(r_1^*, \dots, r_M^*)$ .

La simulación de las variables a partir del análisis Bootstrapping permite determinar la consistencia y estabilidad de los resultados del análisis de eficiencia ante cualquier variación de los datos originales, mediante la obtención de un intervalo o rango de eficiencia para cada una de las DMUs analizadas en lugar de un único índice de eficiencia.

En el estudio de la eficiencia de los puertos pertenecientes al Sistema Portuario Español hemos aplicado el método bootstrap empleando las mismas variables que en el análisis DEA del capítulo anterior, para el horizonte temporal analizado (1994-2008). En concreto, hemos considerado los valores medios de cada una de las variables en dicho período como dato central para, a partir de ellos, determinar el intervalo de variación. Como es lógico, hemos excluido el puerto de la Bahía de Algeciras de la muestra analizada, ya que su consideración habría alterado los resultados del estudio<sup>5</sup>.

El procedimiento empleado para construir los intervalos de confianza de los índices de eficiencia del DEA con la metodología del *bootstrap* puede resumirse en las siguientes fases:

- Generamos unas muestras aleatorias de los datos del input y los outputs. En este caso, además, se procedió por bloques de 10 muestras, para así poder observar las "mejoras" en los intervalos de los índices de eficiencia derivados del análisis.
- Para cada una de las muestras se calculó su eficiencia mediante la aplicación de la programación lineal, es decir, del DEA.
- 3. Como hemos comentado, los resultados se calcularon añadiendo en cada caso 10 nuevas muestras a las obtenidas con anterioridad, y observando la evolución del intervalo de confianza. En este caso se pudo observar que a partir de las 40 primeras muestras los resultados cambiaban muy poco respecto de los precedentes, así que al final el número de muestras realizadas se limitó a 100 muestras.
- 4. Con los resultados de eficiencia para cada uno de los puertos, se ordenaron y se eliminaron los 5 valores extremos (tanto superiores como inferiores), para determinar así un intervalo entre el valor máximo y el mínimo.

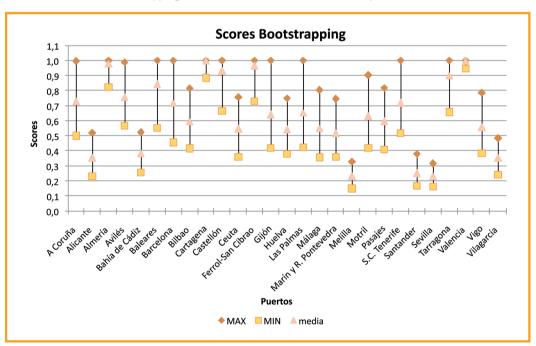
(5) Recordamos que en el capítulo anterior quedó demostrado que el puerto de Bahía de Algeciras se trataba de una unidad "influyente" que condicionaba los resultados de los análisis del resto de puertos del sistema. Los resultados que se obtuvieron tras la aplicación del análisis *bootstrap* a los 27 puertos de la muestra, se recogen en la *Tabla* 3.4, en la que se recoge el *score* máximo (MAX) y mínimo (MIN) obtenidos, junto con los valores medios del índice de eficiencia para cada puerto, y el valor de la amplitud del intervalo. Estos mismos resultados se representan en el *Gráfico* 3.1.

Tabla 3.4. Bootstrapping: intervalos de confianza de los scores

	DMU	MAX	MIN	Media	Amplitud (%)
1	Valencia	1	0,95	0,99	5,28%
2	Cartagena	1	0,88	0,99	11,67 %
3	Almería	1	0,82	0,98	17,64 %
4	Ferrol-San Cibrao	1	0,73	0,97	27,28 %
5	Castellón	1	0,67	0,93	33,48 %
6	Tarragona	1	o <b>,</b> 66	0,90	34,35 %
7	Baleares	1	0,55	0,84	44,96 %
8	Avilés	0,99	0,56	0,76	42,29%
9	A Coruña	1	0,50	0,73	49,65%
10	Barcelona	1	0,46	0,72	48,32 %
11	S.C. Tenerife	1	0,52	0,72	54,50 %
12	Las Palmas	1	0,42	0,65	57,84%
13	Gijón	1	0,42	0,64	58,31 %
14	Motril	0,90	0,42	0,63	48,43 %
15	Pasajes	0,82	0,41	0,60	40,81%
16	Bilbao	0,81	0,42	0,59	39,93 %
17	Vigo	0,79	0,38	0,56	40,11%
18	Ceuta	0,76	0,36	0,55	44,83%
19	Málaga	0,80	0,36	0,55	39,67%
20	Huelva	0,75	0,38	0,54	36,85%
21	Marín y R. Pontevedra	0,74	0,36	0,52	38,45 %
22	Bahía de Cádiz	0,52	0,26	0,38	26,74 %

	DMU	MAX	MIN	Media	Amplitud (%)
23	Alicante	0,52	0,23	0,35	29,00 %
24	Vilagarcía	0,48	0,24	0,35	24,17 %
25	Santander	0,38	0,17	0,25	21,12 %
26	Melilla	0,33	0,15	0,23	15,64%
27	Sevilla	0,32	0,16	0,23	17,72 %
	Media	0,81	0,46	0,64	35,15%

Gráfico 3.1. Bootstrapping: intervalos de confianza de los scores y valor medio del índice



Fuente: elaboración propia

De los resultados obtenidos (Tabla 3.4 y Gráfico 3.1) puede deducirse que:

- I. Pequeñas variaciones en los inputs y/o outputs considerados ocasionarían grandes variaciones en la eficiencia de la mayoría de los puertos, tal y como se refleja en la amplitud de los intervalos de los índices de eficiencia. Analizando el conjunto de puertos en global, la amplitud entre el máximo nivel de eficiencia y el menor posible, asciende en términos medios al 35,15%.
- 2. Existe un grupo compuesto por 11 puertos que, en un contexto de incertidumbre, seguirían siendo muy eficientes (sombreados de naranja oscuro en la *Tabla* 3.1):Valencia, Cartagena, Almería, Ferrol-San Cibrao, Castellón, Tarragona, Baleares, Avilés, A Coruña, Barcelona y Santa Cruz de Tenerife. Estos puertos siguen teniendo unos scores medios superiores a 0,7, y el máximo al que pueden aspirar es el nivel de eficiencia unitario. No obstante, siendo más minuciosos en el estudio, únicamente los cuatro primeros puertos de este grupo son los que presentan menores amplitudes (por debajo del 30%)<sup>6</sup> y sus niveles de eficiencia mínimos superan el 0,7. Por tanto, sólo los puertos de Valencia, Cartagena, Almería y Ferrol-San Cibrao seguirían siendo muy eficientes ante pequeñas variaciones en su inmovilizado (input) o en sus tráficos (outputs).
- 3. Una vez más debemos destacar el papel del puerto de Valencia como líder de la clasificación (al excluir del análisis el puerto de Bahía de Algeciras). Ante pequeñas variaciones en su input u outputs, este puerto seguiría siendo muy eficiente con un score mínimo de 0,95 (el mayor mínimo del grupo). En definitiva, presenta una gran eficiencia muy estable que queda corroborado con una amplitud en sus niveles de eficiencia de tal sólo un 5,28%.

Si comparamos, en la *Tabla 3.5*, los valores medios de los índices de eficiencia obtenidos con la técnica *bootstrap* con los valores medios de los *scores* originales que obtuvimos tras aplicar el

(6) Los puertos más eficientes son los que presentan una menor amplitud lógicamente, puesto que el valor máximo del score que pueden alcanzar es uno y, por tanto, como se encuentran muy cerca de ese valor pueden alcanzar la eficiencia máxima con una pequeña variación (amplitud) de sus scores.

modelo CCR al conjunto de puertos del SPE (sin tener en cuenta el puerto de Bahía de Algeciras)<sup>7</sup> se observa que las diferencia son muy pequeñas. En concreto, para el 60% de los puertos analizados las diferencias son menores o iguales al 5%, y el 85% de los mismos presentan diferencias que no superan el 10%.

En términos medios, las diferencias totales son del 3,45%; el índice de eficiencia medio del total de puertos analizados con el modelo CCR original asciende a 0,61, mientras que con la técnica bootstrap obtenemos un score medio total muy similar, del 0,64. En definitiva, estos resultados nos llevan a considerar que el análisis bootstrapping responde bien a la estructura de estabilidad de los índices de eficiencia.

(7) Estos datos están recogidos en el capítulo 2 (*Tabla* 2.8).

Tabla 3.5. Comparativa entre scores medios del modelo CCR original y técnica Bootstrap

	Score media CCR original	Score medio Bootstrap	Diferencia (%)
A Coruña	(sin B. Algeciras)	Score medio	6,77 %
Alicante	Bootstrap	Diferencia (%)	1,73 %
Almería	0,93	0,98	5,39 %
Avilés	0,76	0,76	-0,75 %
Bahía de Cádiz	0,40	0,38	-4,25%
Baleares	0,84	0,84	0,16 %
Barcelona	0,70	0,72	1,76 %
Bilbao	0,54	0,59	9,28 %
Cartagena	0,88	1,00	13,67 %
Castellón	0,91	0,93	2,16 %
Ceuta	0,50	0,55	10,11 %
Ferrol-San Cibrao	0,97	0,97	-0,25 %
Gijón	0,59	0,64	8,45 %
Huelva	0,49	0,54	11,56 %

	Score media CCR original	Score medio Bootstrap	Diferencia (%)
Las Palmas	0,61	0,65	7,01 %
Málaga	0,53	0,55	3,71 %
Marín y Ría de Pontevedra	0,52	0,52	0,24 %
Melilla	0,30	0,23	-22,99 %
Motril	0,56	0,63	12,14%
Pasajes	0,59	0,60	1,76 %
S.C. Tenerife	0,66	0,72	8,57 %
Santander	0,24	0,25	2,87 %
Sevilla	0,22	0,23	4,65 %
Tarragona	0,84	0,90	7,10 %
Valencia	0,98	1,00	1,53 %
Vigo	0,59	0,56	-5,23 %
Vilagarcía	0,33	0,35	5,97%
MEDIA	0,61	0,64	3,45 %

A continuación, aplicamos una técnica alternativa para analizar la eficiencia en un contexto de incertidumbre: el análisis DEA con tolerancias. Este método nos permitirá obtener unos intervalos de confianza para estudiar la sensibilidad y robustez de la eficiencia de los puertos pertenecientes al actual SPE.

# 3.3. Análisis de tolerancias. Aplicación al Sistema Portuario Español

## 3.3.1. Metodología del análisis de tolerancias

En esta misma línea, pero como alternativa a estos procesos, proponemos la aplicación de un nuevo **DEA con tolerancias** siguiendo la investigación realizada por Bonilla, Casasús, Medal y Sala (2004). En este modelo, se definen <u>tolerancias</u> o posibles variaciones en todos los inputs y otputs seleccionados en el problema, para la totalidad de DMUs consideradas.

Como hemos comentado anteriormente, el determinismo de los datos es un grave problema en la aplicación de los modelos DEA. Ello significa que una leve modificación de los datos de cualquiera de las unidades puede producir una alteración grave de los resultados en el estudio de la eficiencia de las unidades analizadas. En el caso particular de los modelos DEA, con independencia del tipo (radial o no radial) y orientación (input u output), una forma de solventar este problema es aplicar tolerancias (entendidas como posibles holguras) a todos los valores de los inputs y outputs de cada una de las DMUs analizadas<sup>8</sup>.

Al aplicar las tolerancias (entendidas como posibles variaciones, simétricas o no) a los valores de los inputs y/o outputs de cada una de las DMUs y resolviendo el nuevo modelo DEA con tolerancias, llegaríamos a un intervalo de eficiencia (y no un nivel único de eficiencia como ocurría en el DEA original) para cada DMU o puertos pertenecientes al SPE en nuestro estudio. Con ello, obtendríamos información respecto a la eficiencia que posee cada uno de los puertos a partir de los datos seleccionados, y el nivel de eficiencia que podrían alcanzar si variaran el input y outputs considerados.

La determinación de los valores de las tolerancias es uno de los puntos críticos del proceso, dada la subjetividad a la que está expuesto. Para ello, hemos optado por emplear un método estadístico-descriptivo para analizar los datos (basándonos en las series históricas de los inputs y outputs seleccionados y considerando los niveles máximos y mínimos alcanzados en el período analizado, por ejemplo, es posible llegar a determinar las holguras que han presentado estas variables) y así elegir un nivel de tolerancia adecuado.

(8) Para una explicación detallada puede verse en Bonilla et al. (2004). En principio, podemos definir un nivel de tolerancia para cada uno de los inputs y outputs considerados en cada una de las DMUs. Estos niveles de tolerancias los denotamos por:

- t<sub>ik</sub>: nivel de tolerancia del input i para la DMU k-ésima.
- w<sub>ik</sub>: nivel de tolerancia del output j para la DMU k-ésima.

Sustituyendo en el modelo DEA original los valores de los inputs y outputs iniciales por los valores modificados según el nivel de tolerancia estimado, la mejor y peor situación posible para cada puerto o terminal "k", vendría dada por las ecuaciones [3.2] y [3.3], respectivamente:

a) Mejor Caso: 
$$x'_{ik} = \begin{cases} (1 - t_{ik})x_{ik}, & k = i \\ (1 + t_{ik})x_{ik}, & k \neq i \end{cases}$$
$$y'_{jk} = \begin{cases} (1 + w_{jk})y_{jk}, & k = j \\ (1 - w_{jk})y_{jk}, & k \neq j \end{cases}$$

La mejor situación posible para una determinada unidad "k" sería aquella en la reduciendo los inputs de este puerto y aumentando los inputs del resto de terminales (según el nivel de tolerancia  $t_{ik}$  asignado) conseguimos aumentar sus outputs mientras que los del resto de unidades se reducen (en el nivel de tolerancia  $w_{ik}$ ).

b) Peor caso: 
$$x_{ik}' = \begin{cases} (1+t_{ik})x_{ik}, & k=i\\ (1-t_{ik})x_{ik}, & k \neq i \end{cases}$$

$$y_{jk}' = \begin{cases} (1-w_{jk})y_{jk}, & k=j\\ (1+w_{jk})y_{jk}, & k \neq j \end{cases}$$

$$(1+w_{jk})y_{jk}, & k \neq j$$

La peor situación posible para la unidad "k" sería justo la contraria: aumentando los inputs de esta terminal y reduciendo los inputs del resto de puertos (según el nivel de tolerancia  $t_{ik}$  asignado) conseguimos un descenso de sus outputs mientras que los del resto de terminales se incrementan (en el nivel de tolerancia  $w_{ik}$ ).

Recogiendo el conjunto de los casos más favorables y desfavorables para cada una de las DMUs (terminales) obtenemos las matrices X' e Y', según la ecuación [3.4]:

$$X' = \begin{bmatrix} x'_{ik} \end{bmatrix} \in M_{(i,k)}$$

$$Y' = \begin{bmatrix} y'_{ik} \end{bmatrix} \in M_{(i,k)}$$
[3.4]

Cuando se implementan estas matrices en un modelo DEA (CCR o SBM), se obtienen los valores del índice de eficiencia en el "mejor caso" y en el "peor caso".

El modelo anterior con tolerancias podría simplificarse suponiendo que las tolerancias son idénticas para todas las DMUs. Así quedarían definidas:

 $t_i = t_{i1} = t_{i2} = \dots = t_{in}$ : nivel de tolerancia del input i, idéntico para todas las DMUs.

 $w_i = w_{i1} = w_{i2} = \dots = w_{in}$ : nivel de tolerancia del output j, idéntico para todas las DMUs.

En este caso particular, las ecuaciones [3.2] y [3.3] quedarían redefinidas de la siguiente manera:

#### a) Mejor Caso:

$$x_{ik} = \begin{cases}
(1 - t_i)x_{ik}, & k = i \\
(1 + t_i)x_{ik}, & k \neq i
\end{cases}$$

$$y_{jk} = \begin{cases}
(1 + w_j)y_{jk}, & k = j \\
(1 - w_j)y_{jk}, & k \neq j
\end{cases}$$

b) Peor caso: 
$$x_{ik}' = \begin{cases} (1+t_i)x_{ik}, & k=i \\ (1-t_i)x_{ik}, & k \neq i \end{cases}$$

$$y_{jk}' = \begin{cases} (1-w_j)y_{jk}, & k \neq j \\ (1+w_j)y_{jk}, & k \neq j \end{cases}$$
[3.6]

Supongamos que los valores de los inputs y los outputs están dentro de un intervalo [3.7], es decir:

$$\mathbf{x}_{ij} \in \left[\mathbf{x}_{ij} - \gamma_{ij}, \mathbf{x}_{ij} + \gamma'_{ij}\right] \qquad \mathbf{y}_{ij} \in \left[\mathbf{y}_{ij} - \delta_{ij}, \mathbf{x}_{ij} + \delta'_{ij}\right]$$
 [3.7]

donde  $\gamma_{ij}, \gamma_{ij}', \delta_{ij}, \delta_{ij}$  son escalares no negativos que expresan las cotas superiores e inferiores de tolerancia o imprecisión que se suponen en los datos. Además, suponemos que dentro de estos intervalos todos los valores son equiprobables, por lo que no se puede asignar mayor probabilidad a ninguno de ellos.

Si queremos analizar la eficiencia de la unidad  $j_0$ , para  $1 \le i \le m$ ,  $1 \le r \le s$  obtenemos las cuatro posibilidades siguientes [3.8]:

Inputs 
$$= \begin{cases} x_{ij} & j = j_0 \\ x_{ij} & j \neq j_0 \end{cases}$$
 Outputs 
$$= \begin{cases} y_{rj} & j = j_0 \\ y_{rj} & j \neq j_0 \end{cases}$$

Para cada una de estas cuatro opciones, nuestra propuesta es analizar solamente los valores extremos y el valor original de cada input y cada output, es decir [3.9]:

Valores de inputs 
$$\in \left\{ \boldsymbol{x}_{ij} - \boldsymbol{\gamma}_{ij}, \boldsymbol{x}_{ij}, \boldsymbol{x}_{ij} + \boldsymbol{\gamma'}_{ij} \right\}$$
 [3.9]

Valores de outputs  $\in \left\{ \boldsymbol{y}_{ij} - \boldsymbol{\delta}_{ij}, \boldsymbol{y}_{ij}, \boldsymbol{y}_{ij} + \boldsymbol{\delta'}_{ij} \right\}$ 

Así,  $x_{ij}$ ,  $j \neq j_0$  puede tomar tres posibles valores:  $(x_{ij} - \gamma_{ij})$ ,  $x_{ij}$   $\delta(x_{ij} + \gamma'_{ij})$ . A su vez, para cada uno de estos tres casos,  $x_{ij_0}$  puede tomar los valores  $(x_{ij_0} - \gamma_{ij_0})$ ,  $x_{ij_0}$ , y  $(x_{ij_0} + \gamma'_{ij_0})$ . Si a estas  $3^2 = 9$  situaciones diferentes para los inputs añadimos las equivalentes para los outputs, las posibilidades para estudiar la eficiencia de cada unidad son  $3^4 = 81$ . Por tanto, el número de modelos DEA que deberemos resolver cuando se está analizando la unidad  $j_0$  es 81.

Como la cantidad de situaciones a modelizar es elevada, conviene simplificar la notación de la forma siguiente [3.10]:

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{ij} - \mathbf{\gamma}_{ij} &\coloneqq \mathbf{X}_{ij}^{m}, \quad \mathbf{X}_{ij} &\coloneqq \mathbf{X}_{ij}^{o}, \quad \mathbf{X}_{ij} + \mathbf{\gamma'}_{ij} &\coloneqq \mathbf{X}_{ij}^{M} \\ \mathbf{Y}_{ij} - \delta_{ij} &\coloneqq \mathbf{Y}_{ij}^{m}, \quad \mathbf{Y}_{ij} &\coloneqq \mathbf{Y}_{ij}^{M}, \quad \mathbf{Y}_{ij} &\coloneqq \mathbf{Y}_{ij}^{M} \end{aligned}$$
[3.10]

#### Donde:

 $X_{j}^{m}$  es el mínimo valor (m) del input "i" para la DMU "j"  $X_{j}^{o}$  es el valor original (o) del input "i" para la DMU "j"  $X_{j}^{M}$  es el máximo valor (M) del input "i" para la DMU "j"  $Y_{j}^{m}$  es el mínimo valor (m) del output "r" para la DMU "j"  $Y_{j}^{o}$  es el valor original (o) del output "r" para la DMU "j"

 $y_{j}^{M}$  es el máximo valor (M) del output "r" para la DMU "j"

Con estas consideraciones, el modelo DEA a resolver para aplicar el análisis de tolerancias sería el expresado en la ecuación [3.11]:

$$\begin{split} E(x^a_{ij}, x^b_{ij_o}, y^c_{rj}, y^d_{rj_o}) &= & \text{Min} \quad \theta \\ & \text{sujeto a} \\ & \sum_{j=l}^n \lambda_j x^a_{ij} \leq \theta x^b_{ij_o} \quad 1 \leq i \leq m \\ & \sum_{j=l}^n \lambda_j y^c_{rj} \geq y^d_{ij_o} \quad 1 \leq r \leq s \\ & \sum_{j=l}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0 \qquad 1 \leq j \leq n \end{split}$$

Donde  $a,b,c,d \in \{m,o,M\}$ 

Una vez obtenidos los niveles de eficiencia, {  $E(x_{ij}^a, x_{ij}^b, y_{rj}^c, y_{rj}^d)$ ,  $a,b,c,d \in \{m,o,M\}$ }, como uno de nuestros objetivos es ordenar las unidades productivas en función de su nivel relativo de eficiencia técnica, procederemos a calcular dos ratios de eficiencia para la  $j_0$ -ésima unidad ( $R^1_{jo}$  y  $R^2_{jo}$ ), tal y como se definen en las ecuaciones [3.12] y [3.13]:

$$\mathsf{R}_{\mathsf{jo}}^{\mathsf{l}} = \frac{\mathsf{e}_{\mathsf{j0}}}{\mathsf{card}(\Gamma_{\mathsf{io}})} \tag{3.12}$$

$$\mathsf{R}_{j0}^2 = \begin{cases} \frac{\mathsf{S}_{j0} - \mathsf{e}_{j0}}{\mathsf{card}(\Gamma_{j0}) - \mathsf{e}_{j0}} & \text{si card}(\Gamma_{j0}) \neq \mathsf{e}_{j0} \\ 0 & \text{si card}(\Gamma_{j0}) = \mathsf{e}_{j0} \end{cases}$$
 [3.13]

Siendo:  $e_{j_0}$  = número de veces que la unidad  $j_0$  es eficiente.

 $S_{j_0}$  = la suma de los 81 ratios de eficiencia  $R_{j_0}^1$  para la unidad  $j_0$ .

$$card(\Gamma_{jo})$$
 = 81, para este problema<sup>9</sup>

El primer ratio de eficiencia  $(R^1_{jo})$  podrá tomar valores entre [0,1] y cuanto más se aproxime a la unidad, mayor número de veces habrá sido eficiente la unidad  $j_0$ . El segundo ratio,  $R^2_{jo}$ , tomará el mismo rango de valores que el anterior y nos permitirá discernir qué unidad es más eficiente en el caso de que dos puertos obtengan el mismo valor para el primer ratio.

En consecuencia, para ordenar las DMUs consideradas en función de su nivel de eficiencia, calcularemos los ratios anteriores y concluiremos que la DMU, es mejor que la DMU, si se cumple:

$$DMU_j > DMU_k \iff R_i^1 > R_k^1$$

En caso de que los dos ratios obtengan el mismo valor para las unidades que estamos comparando, es posible deshacer el empate recurriendo al segundo ratio de eficiencia. En consecuencia, la DMU<sub>j</sub> será mejor que la DMU<sub>k</sub> si, obteniendo el mismo valor para el primer ratio, se cumple que:

$$DMU_j \geq DMU_k \iff R_i^1 = R_k^1 \ \ \text{y} \ \ R_i^2 > R_k^2$$

Una vez definido el marco teórico del modelo DEA con tolerancias procederemos a su aplicación sobre la totalidad de puertos que conforman el SPE actual. Como paso previo, en el siguiente epígrafe, describimos el procedimiento empleado para la determinación de dichas tolerancias.

#### 3.3.2. Selección de las tolerancias

La determinación de los valores de las tolerancias (simétricas o no) es uno de los puntos críticos del proceso, dada la subjetividad a la que están expuestos. Resulta evidente que la determinación arbitraria de las posibles variaciones de los inputs y out-

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

puts condicionarían los resultados pudiendo derivarse incluso conclusiones inviables, alejadas de la realidad.

Por este motivo, en nuestro caso, y extensible a otros contextos, lo razonable es seleccionar unas tolerancias que representen variaciones factibles en los inputs y outputs, considerando las soportadas en fechas precedentes. Con este objeto, hemos determinado las tolerancias a aplicar en nuestro análisis siguiendo los seis pasos que se describen a continuación<sup>10</sup>:

**Paso I.** Se separan las series de inputs y outputs para cada puerto, en cada período "i".

**Paso 2.** En cada serie (de inputs y outputs) calculamos los siguientes valores: Media -Media(i)- , Máximo -Max(i)- y Mínimo -Min(i)- del período "i".

**Paso 3.** Calculamos la diferencia entre el valor Máximo y la Media -DIFMAX(i)- tal y como figura en la ecuación [3.14] y determinamos la diferencia entre el valor Mínimo respecto de la Media –DIFMIN(i)- según la ecuación [3.15], en cada uno de los períodos "i" analizados, para las diferentes DMUs seleccionadas.

$$DIFMAX(i) = \frac{Max(i) - Media(i)}{Media(i)}$$
[3.14]

$$DIFMIN(i) = \frac{Mediax(i) - Min(i)}{Media(i)}$$
[3.15]

**Paso 4.** Se procede a la determinación de las tolerancias para cada serie de inputs y outputs, en el período "i" -TOL(i)- según la ecuación [3.16]:

(10) Para la determinación de las tolerancias seguimos el mismo proceso descrito en investigaciones previas. Ver Bonilla et al. (2004).

$$TOL(i) = \frac{DIFMAX(i) - DIFMIN(i)}{2} = \frac{Max(i) - Min(i)}{2}$$
 [3.16]

**Paso 5.** Posteriormente, obtenemos la media aritmética de todas las variaciones periodales -TOL(i)-, lo que nos llevará a alcanzar un único valor representativo de la holgura posible o nivel de tolerancia (TOL) para el input (Inmovilizado neto: IN-MONET) y los outputs (tráfico de graneles líquidos: GL, graneles sólidos: GS y mercancía general: MG) de cada una de las terminales asignadas a los distintos grupos objeto de estudio, según muestra la ecuación [3.17].

$$TOL = MediaTOL(i) = \frac{\sum_{i=1}^{n} TOL(i)}{n}$$
[3.17]

**Paso 6.** Por último, dividimos el valor obtenido para TOL entre dos. De esta forma, al dividir la amplitud global de las tolerancias obtenidas en dos partes, podrán indicar tanto variaciones positivas (incrementos) como negativas (reducciones) de los inputs y outputs seleccionados.

Siguiendo el proceso descrito, hemos obtenido las tolerancias a aplicar en nuestro análisis para el conjunto de puertos que configuran el actual Sistema Portuario Español (excluyendo al puerto de Bahía de Algeciras por su influencia sobre el resto), a partir de los datos de los outputs e input correspondientes a los ejercicios comprendidos entre 1994 y 2008.

Los valores obtenidos como tolerancias totales (TOL)<sup>11</sup> del input considerado (inmovilizado neto) y los outputs definidos (tráficos diferenciados en graneles líquidos –GL– graneles sólidos –GS– y mercancía general –MG–) se exponen en la *Tabla* 3.6.

(11) Como hemos comentado en el "paso 6", estas tolerancias se dividen posteriormente entre dos para indicar tanto variaciones positivas como negativas en las variables consideradas.

Tabla 3.6. Tolerancias del input y outputs

Puertos	Tole	Tolerancias OUTPUTS			
	GL	GS	MG	INMOV N.	
A Coruña	6,09 %	7,08%	14,89%	11,59 %	
Alicante	8,34 %	6,50 %	7,75 %	8,00 %	
Almería	9,74 %	6,30 %	8,14%	11,07%	
Avilés	6,69 %	8,19 %	7,24%	8,90 %	
Bahía de Cádiz	34,19 %	12,86 %	6,72 %	6,51%	
Baleares	15,71 %	7,06 %	8,14%	7,70 %	
Barcelona	7,24%	7,04%	9,84%	10,52 %	
Bilbao	7,84%	7,59 %	6,93%	6,31%	
Cartagena	8,37 %	8,54%	9,35 %	8,04 %	
Castellón	6,77 %	11,15 %	10,71 %	10,55%	
Ceuta	13,27%	8,03%	7,04 %	7,42 %	
Ferrol-San Cibrao	13,58 %	7,30 %	9,65%	11,58 %	
Gijón	5,91%	7,06 %	8,63%	14,04 %	
Huelva	6,86 %	7,16 %	7,96 %	6,89 %	
Las Palmas	6,32 %	7,37%	9,25%	8,11%	
Málaga	13,66 %	7,70 %	19,24%	7,69 %	
Marín y Ría de Pontevedra	35,19 %	7,63%	7,12 %	7,77 %	
Melilla	6,82 %	11,62 %	6,39 %	9,45%	
Motril	7,98 %	6,84%	8,64%	10,49 %	
Pasajes	12,90 %	7,26 %	7,29 %	5,30 %	
S.C. Tenerife	6,24%	7,90 %	6,95%	7,33 %	
Santander	7,74 %	7,61%	6,90%	6,10 %	
Sevilla	7,31 %	6,49%	7,74 %	7,75 %	
Tarragona	6,85%	7,84%	8,92 %	7,45 %	

Puertos	Tole	rancias OUT	Tolerancias INPUT	
	GL	GS	MG	INMOV N.
Valencia	14,77 %	8,01%	11,26 %	10,36 %
Vigo	27,17%	7,69 %	8,01%	8,35 %
Vilagarcía	9,33 %	7,82 %	7,57%	9,40 %

Los valores recogidos en la *Tabla* 3.6 deben interpretarse de la siguiente manera: el puerto de A Coruña presenta unos niveles de tolerancia del 6,09%, 7,08% y 14,89% en sus tráficos de graneles líquidos, sólidos y mercancía general, respectivamente y del 11,59% en su inmovilizado. Esto significa que históricamente<sup>12</sup>, por ejemplo, el tráfico de graneles líquidos del puerto de A Coruña ha oscilado en términos medios un 6,09% (entre el máximo y el mínimo alcanzados) y su inmovilizado ha variado en el 11,59%, por lo que asumimos como posibles variaciones en el input u outputs considerados esos mismos porcentajes.

Aunque el principal inconveniente de la aplicación del modelo DEA con tolerancias es la determinación de las mismas por la subjetividad que conlleva, es posible emplear procedimientos que nos ratifiquen su correcta elección. Una vía para ratificar el acierto o error en la determinación de las tolerancias del modelo se fundamenta en el análisis de las tablas de contingencia de la distribución de los scores para cada uno de los puertos analizados. Dicho procedimiento nos permitió corroborar en investigaciones previas (ver Medal y Sala, 2008) que la selección de tolerancias basadas en las propias variaciones históricas del input y outputs lleva a mejores resultados que el uso de tolerancias genéricas (del 10% o del 25%, por ejemplo), o bien, la aplicación de tolerancias aleatorias.

(12) Nuestra serie histórica se limita al período analizado: 1994-2008.

Justificada la elección de las tolerancias, a continuación detallamos la aplicación del análisis de tolerancias al estudio de la eficiencia del conjunto de puertos que conforman el SPE.

### 3.3.3. Aplicación al análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español

Definidas las tolerancias, el siguiente paso en nuestro análisis consiste en aplicar de nuevo el modelo DEA (modelo CCR) sobre el conjunto de puertos del SPE, a excepción de Bahía de Algeciras, considerando las posibles tolerancias u holguras en el input y outputs definidos.

La aplicación del DEA con tolerancias a la muestra analizada nos llevaría a 81 casos posibles en función de las diferentes combinaciones en el input y outputs, que nos darían como resultado 81 scores o valores del índice de eficiencia. Esto nos permite conocer el rango de variación de los valores de los índices de eficiencia, es decir, el posible recorrido del valor del índice de eficiencia que iría desde la peor de las situaciones posibles que se pueden presentar hasta la mejor.

Resulta obvio la amplitud y complejidad de la información resultante, por lo que en la *Tabla* 3.7 detallamos únicamente el *score* medio de los datos originales (ORIGINAL) sin tolerancias; el *score* máximo obtenido (MAX) que correspondería al mejor caso posible; y el *score* mínimo alcanzado (MIN), correspondiente a la peor de las situaciones.

Tabla 3.7. Scores DEA con tolerancias

	ORIGINAL	MAX	MIN	MEDIA	Amplitud
A Coruña	0,721	1	0,503	0,731	49,7%
Alicante	0,348	0,498	0,243	0,351	25,5 %
Almería	1	1	0,737	0,967	26,3%
Avilés	0,748	1	0,517	0,755	48,3%
Bahía de Cádiz	0,376	0,537	0,263	0,380	27,4 %
Baleares	0,843	1	0,575	0,842	42,5%
Barcelona	0,701	1	0,467	0,712	53,3 %

	ORIGINAL	MAX	MIN	MEDIA	Amplitud
Bilbao	0,585	0,813	0,421	0,591	39,2 %
Cartagena	1	1	0,873	0,996	12,7%
Castellón	0,958	1	0,671	0,925	32,9 %
Ceuta	0,535	0,770	0,370	0,540	40,0 %
Ferrol-San Cibrao	1	1	0,734	0,965	26,6%
Gijón	0,627	0,938	0,423	0,638	51,6 %
Huelva	0,537	0,732	0,393	0,541	33,9 %
Las Palmas	0,638	0,936	0,436	0,646	49,9 %
Málaga	0,543	0,816	0,356	0,548	46,0%
Marín y Ría de Pon- tevedra	0,510	0,727	0,358	0,516	36,9 %
Melilla	0,227	0,331	0,156	0,230	17,5 %
Motril	0,620	0,892	0,432	0,628	46,1%
Pasajes	0,581	0,805	0,418	0,586	38,7 %
S.C. Tenerife	0,706	0,991	0,505	0,714	48,6 %
Santander	0,248	0,345	0,177	0,250	16,8%
Sevilla	0,229	0,326	0,161	0,232	16,5%
Tarragona	0,915	1	0,665	0,902	33,5 %
Valencia	1	1	0,924	0,999	7,6 %
Vigo	0,543	0,796	0,372	0,551	42,5%
Vilagarcía	0,346	0,501	0,238	0,350	26,3%

Junto a estos datos, la *Tabla* 3.7 proporciona información sobre el valor medio de todos los *scores* obtenidos para las unidades evaluadas (MEDIA), junto con la amplitud del intervalo (MAX-MIN) en términos porcentuales. A este respecto, una gran amplitud o diferencia entre el mejor y peor de los casos (por ejemplo, el puerto de Gijón tiene una amplitud superior al 50%), implica que el puerto en cuestión puede mejorar o empeorar considerablemente ante variaciones en sus inputs y outputs, es decir, es muy sensible a

las posibles variaciones de éstos. Por contra, si la amplitud es muy pequeña (como ocurre con el puerto de Valencia) indica que su nivel de eficiencia no mejorará o empeorará en gran medida, o no variará en absoluto si su amplitud es 0, aunque modifiquemos sus inputs y outputs.

El Gráfico 3.2 ilustra los resultados obtenidos en el análisis de tolerancias tal y como lo hemos descrito, teniendo en cuenta los dos casos extremos definidos. En él se puede observar el score medio inicial indicativo del nivel de eficiencia original, así como los valores obtenidos para el mejor y peor de los casos; la longitud de la línea que une ambos casos extremos nos muestra la amplitud del intervalo en el que oscilan los índices de eficiencia ante las situaciones descritas.

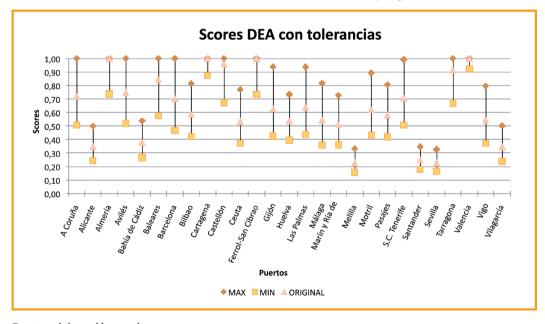


Gráfico 3.2. DEA con tolerancias: score MAX, MIN y original

Fuente: elaboración propia

Como puede observarse en la *Tabla 3.7* y el *Gráfico 3.2*, no todos los puertos tienen la misma sensibilidad a posibles variaciones en su inmovilizado o en sus tráficos. Dentro del conjunto de puertos que conforman el actual SPE (exceptuando el puerto de Bahía de

Algeciras) es posible diferenciar entre aquellos cuya eficiencia se vería muy afectada por un cambio en su input u outputs (por ejemplo, A Coruña, Avilés, Santa Cruz de Tenerife o Barcelona), y los que no se modificarían apenas (por ejemplo, Cartagena, Santander, Sevilla o Valencia). También podemos discernir entre puertos que, en el mejor de los casos, alcanzarían el nivel máximo de eficiencia, es decir, un score unitario (A Coruña, Avilés, Barcelona, etc.) y otros que ni estando en la situación óptima llegarían a ser completamente eficientes (Alicante, Bahía de Cádiz, Bilbao, etc.).

Estas y otras conclusiones del análisis de tolerancias, se exponen a continuación con mayor detalle.

#### 3.3.4. Conclusiones

De los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología DEA con tolerancias (*Tabla 3.7* y *Gráfico 3.2*) podemos concluir los siguientes aspectos:

**Primero.** Tal y como hemos indicado anteriormente, no todos los puertos analizados presentan la misma sensibilidad a variaciones en su inmovilizado y tráficos. Aquellos puertos que presentan mayor amplitud o diferencia entre el mejor y peor de los casos pueden mejorar o empeorar considerablemente ante variaciones en su input y outputs, mientras que los que poseen menor amplitud son menos sensibles a las posibles variaciones de éstos.

En concreto, ordenando los puertos en función de la amplitud obtenida (*Tabla* 3.8) podemos concluir que hay 8 puertos (Barcelona, Gijón, Las Palmas, A Coruña, S.C. Tenerife, Avilés, Motril y Málaga) muy sensibles<sup>13</sup> ante cambios en sus tráficos e inmovilizado, mientras que tan sólo 5 puertos (Melilla, Santander, Sevilla, Cartagena y Valencia) no se ven demasiado afectados<sup>14</sup> por variaciones en los mismos.

(13) La amplitud entre el score máximo y el mínimo es superior al 45%.

(14) La amplitud de los scores del análisis con tolerancias de estos puertos no supera el 18%.

Tabla 3.8. Ordenación puertos según amplitud de los scores del DEA con tolerancias

	MAX	MIN	Amplitud
Barcelona	1	0,467	53,3 %
Gijón	0,938	0,423	51,6%
Las Palmas	0,936	0,436	49,9 %
A Coruña	1	0,503	49,7 %
S.C. Tenerife	0,991	0,505	48,6 %
Avilés	1	0,517	48,3 %
Motril	0,892	0,432	46,1%
Málaga	0,816	0,356	46,0 %
Baleares	1	0,575	42,5%
Vigo	0,796	0,372	42,5%
Ceuta	0,770	0,370	40,0 %
Bilbao	0,813	0,421	39,2 %
Pasajes	0,805	0,418	38,7 %
Marín y Ría de Pontevedra	0,727	0,358	36,9 %
Huelva	0,732	0,393	33,9 %
Tarragona	1	0,665	33,5 %
Castellón	1	0,671	32,9 %
Bahía de Cádiz	0,537	0,263	27,4 %
Ferrol-San Cibrao	1	0,734	26,6 %
Almería	1	0,737	26,3%
Vilagarcía	0,501	0,238	26,3%
Alicante	0,498	0,243	25,5 %
Melilla	0,331	0,156	17,5%
Santander	0,345	0,177	16,8%
Sevilla	0,326	0,161	16,5%
Cartagena	1	0,873	12,7%
Valencia	1	0,924	7,6%

**Segundo.** Dentro del conjunto de puertos analizados, sólo el 37% de los mismos alcanzarían el nivel máximo de eficiencia en el mejor de los casos posibles (score unitario). Estos 10 puertos que podrían llegar a ser completamente eficientes son: A Coruña, Almería, Avilés, Baleares, Barcelona, Cartagena, Castellón, Ferrol-San Cibrao, Tarragona y Valencia.

Dentro de este grupo de puertos hay que diferenciar dos subgrupos. El primero estaría compuesto por tan sólo cuatro puertos: Almería, Cartagena, Ferrol-San Cibrao y Valencia; que inicialmente ya habían sido calificados como completamente eficientes, por lo que no pueden mejorar su nivel de eficiencia aunque se de la mejor situación posible<sup>15</sup>, pero si pueden empeorarlo en el caso contrario. En consecuencia, aunque sean los más eficientes del sistema, deben permanecer alerta ante posibles fugas en sus tráficos (que supondrían reducción de su actividad e incrementos en los tráficos de otros puertos) para no perder su posición hegemónica.

El otro subgrupo, estaría compuesto por seis puertos: A Coruña, Avilés, Baleares, Barcelona, Castellón y Tarragona. Este segundo subgrupo lo forman puertos que no son inicialmente eficientes pero podrían llegar a serlo en el mejor de los casos. Son, por tanto, estos puertos los que mayores medidas deberían emprender para conseguir un incremento en sus tráficos que los conduciría a una mayor eficiencia.

(15) Recordamos que la mejor situación posible para un puerto sería aquella en la que con menos inmovilizado conseguimos mayor volumen de tráficos mientras que el resto de puertos aumentan su inmovilizado pero sus tráficos se reducen, en un determinado nivel de tolerancia.

Tabla 3.9. Scores DEA con tolerancias

		MAX	ORIGINAL	MIN
1	S.C. Tenerife	0,991	0,706	0,505
2	Gijón	0,938	0,627	0,423
3	Las Palmas	0,936	0,638	0,436
4	Motril	0,892	0,620	0,432
5	Málaga	0,816	0,543	0,356
6	Bilbao	0,813	0,585	0,421
7	Pasajes	0,805	0,581	0,418
8	Vigo	0,796	0,543	0,372
9	Ceuta	0,770	0,535	0,370
10	Huelva	0,732	0,537	0,393
11	Marín y Ría de Pontevedra	0,727	0,510	0,358
12	Bahía de Cádiz	0,537	0,376	0,263
13	Vilagarcía	0,501	0,346	0,238
14	Alicante	0,498	0,348	0,243
15	Santander	0,345	0,248	0,177
16	Melilla	0,331	0,227	0,156
17	Sevilla	0,326	0,229	0,161

**Tercero.** El resto de puertos analizados, el 63% restante, son unidades que ni estando en la situación óptima llegarían a ser completamente eficientes. No obstante, estos 17 puertos no forman un grupo homogéneo. Reorganizados en función de su nivel máximo de eficiencia, en la *Tabla* 3.9, puede observarse que hay puertos como Santa Cruz de Tenerife, Gijón o Las Palmas que mejorarían en gran medida su nivel de eficiencia en el mejor caso posible; mientras que otros, como Alicante, Santander, Melilla y Sevilla no llegarían a ser eficientes aunque consiguieran aumentar sus tráficos usando menos inmovilizado del que disponen mientras el resto de puertos reducen su actividad contando con mayor inmovilizado (mejor caso).

**Cuarto.** Para completar las conclusiones derivadas del análisis con tolerancias, procedemos a calcular los dos ratios de eficiencia detallados en el epígrafe 3.3.1, para la  $j_0$ -ésima unidad:  $R^1_{j_0}$  y  $R^2_{j_0}$  (*Tabla* 3.10). Como expusimos anteriormente, ambos ratios se sitúan en un rango de valores [0-1]. Cuanto más se aproxime  $R^1_{j_0}$  a la unidad, mayor número de veces habrá sido eficiente la unidad  $j_0$ ; si hubiese dos unidades con el mismo valor del ratio anterior, la unidad con mayor  $R^2_{j_0}$  será la más eficiente.

Tabla 3.10. Ratios de eficiencia del DEA con tolerancias

	Unidad (j <sub>°</sub> )	$R^{\scriptscriptstyle 1}_{\ jo}$	$R^{2}_{jo}$
1	Valencia	0,975	0,961
2	Cartagena	0,938	0,936
3	Almería	0,642	0,907
4	Ferrol-San Cibrao	0,642	0,904
5	Castellón	0,383	0,879
6	Tarragona	0,222	0,875
7	Baleares	0,160	0,812
8	Avilés	0,025	0,749
9	A Coruña	0,012	0,727
10	Barcelona	0,012	0,708
11	Santa Cruz de Tenerife	0	0,714
12	Las Palmas	0	0,646
13	Gijón	0	0,638
14	Motril	0	0,628
15	Bilbao	0	0,591
16	Pasajes	0	0,586
17	Vigo	0	0,551
18	Málaga	0	0,548
19	Huelva	0	0,541
20	Ceuta	0	0,540
21	Marín y Ría de Pontevedra	0	0,516

	Unidad (j <sub>°</sub> )	R¹ <sub>jo</sub>	R² <sub>jo</sub>
22	Bahía de Cádiz	0	0,380
23	Alicante	0	0,351
24	Vilagarcía	0	0,350
25	Santander	0	0,250
26	Sevilla	0	0,232
27	Melilla	0	0,230

Obtenidos los valores de los ratios señalados, podemos ordenar las DMUs consideradas en función de su nivel de eficiencia, teniendo en cuenta las tolerancias imputadas, tal y como se observa en la *Tabla* 3.10. Queremos subrayar que los valores obtenidos por los ratios R<sup>1</sup> y R<sup>2</sup> nos permiten efectuar una ordenación exacta de las unidades en función de su nivel de eficiencia, mientras que las ordenaciones que hemos efectuado anteriormente (capítulo 2), según el valor medio del *score* obtenido, únicamente nos proporcionaban una orientación aproximada de las unidades analizadas.

La ordenación de los puertos nos permite concluir que el puerto de Valencia, seguido del puerto de Cartagena son los que han resultado ser más eficientes tras el análisis DEA con tolerancias (sus ratios R¹ y R² se aproximan a su cuota superior). Ya hemos comentado que estas unidades partían de una posición inicial muy eficiente difícil de mejorar, pero que debían permanecer alerta ante un posible empeoramiento debido a fugas en sus tráficos, por ejemplo.

De nuevo, ratificamos el hecho de que sólo los 10 primeros puertos de la Tabla 3.10 han obtenido el nivel de eficiencia máximo y por ello su ratio  $R^{\dagger}$  es positivo. Por la misma razón, los otros 17 puertos que no podrían llegar a ser nunca completamente eficientes presentan un  $R^{\dagger}$  nulo.

Los valores del ratio R<sup>2</sup> nos permiten corroborar que realmente estos 17 puertos no forman un grupo homogéneo, sino que Santa Cruz de Tenerife, las Palmas o Gijón son los

que mejores índices de eficiencia podrían llegar a obtener si las variaciones en el input y outputs les conducen a la mejor situación posible.

## 3.4. Modelo fuzzy. Aplicación al Sistema Portuario Español

Como hemos argumentado anteriormente, los modelos DEA tradicionales asumen determinismo y precisión en los datos. Sin embargo, la realidad nos demuestra que no siempre es así, por lo que cualquier error de cálculo o inexactitud en los datos podría llevar a conclusiones imprecisas o erróneas.

Junto a los métodos expuestos anteriormente, existe una metodología alternativa para el tratamiento de los datos en un ambiente de incertidumbre: la teoría de los conjuntos fuzzy. La lógica fuzzy nace en los años sesenta con la publicación del trabajo de Zadeh (1965) con el objeto de modelizar matemáticamente la imprecisión de numerosos fenómenos. Esta técnica es apropiada cuando la situación incierta que queremos modelizar no sigue una distribución de probabilidad concreta, con la consecuente imposibilidad de darle un tratamiento probabilístico. En la lógica fuzzy los parámetros inciertos son considerados como números fuzzy o intervalos fuzzy, a través de los cuales se incorpora las preferencias o percepciones de un sujeto decisor.

Basándose en la lógica fuzzy, se han desarrollado modelos fuzzy de programación matemática que tratan de recoger la incertidumbre a la que se enfrentan en numerosas ocasiones los datos, la función objetivo a optimizar o las restricciones con las que nos enfrentamos en los procesos de producción.

En el contexto de los modelos DEA, los problemas que permiten evaluar la eficiencia de las DMUs consideradas pueden evaluarse mediante técnicas de programación fuzzy. En general, existen dos tipos de modelos DEA en un contexto fuzzy: los primeros consideran que la función objetivo y las restricciones son fuzzy, los segundos parten de que los inputs y/o los outputs del problema son fuzzy. Este último enfoque es el que consideran la mayoría de los modelos DEA desarrollados bajo la lógica fuzzy y es el que vamos a utilizar en nuestro estudio.

A continuación, antes de desarrollar y aplicar el modelo DEA en un contexto fuzzy al estudio de la eficiencia del sistema Portuario Español, resumimos los principales trabajos que analizan la evaluación de la eficiencia con modelos DEA fuzzy.

Uno de los primeros trabajos en los que se valora la eficiencia con modelos DEA es el artículo de Sengupta (1992) que considera fuzzy tanto la función objetivo como las restricciones. Este autor analiza un modelo de un solo output y varios inputs, en el que aplica directamente el método de Zimmermann (1976). Otros autores, como Triantis y Girod (1998) usan el método de Carlsson y Korhonen (1986) partiendo de la hipótesis de que el decisor puede determinar una función de pertenencia para cada input y output considerados en el análisis, con dos cotas: una "cota libre de riesgo" que refleja los valores de las variables que se podrían obtener con total seguridad; y una cota "imposible" que recoge un escenario optimista y más improbable en la realidad.

Otro trabajo en los que se aplica la metodología DEA suponiendo que los inputs y outputs se pueden calcular en un contexto fuzzy, es el estudio de Kao y Liu (2000). Estos autores desarrollan un método para encontrar funciones de pertenencia para scores de eficiencia fuzzy cuando algunas de las observaciones son números fuzzy y definen dicha función de pertenencia basándose en el principio de extensión de Zadeh (1965) y los  $\alpha$ -cortes<sup>16</sup>.

La aproximación de Hougaard (1999) permite al decisor el uso de scores de eficiencia técnica combinándolos con otras fuentes de información, como por ejemplo, la opinión de los expertos. Entani et al. (2002) proponen un modelo con un intervalo de eficiencia partiendo del punto de vista optimista y pesimista. Este modelo también permite determinar intervalos de ineficiencia.

Otra aportación interesante es la debida a Guo y Tanaka (2001), que usan la programación posibilística para medir la eficiencia en un contexto fuzzy. Estos autores asumen que los inputs y outputs analizados son números fuzzy triangulares simétricos (en el centro se representa el valor más general y la amplitud del triángulo recoge otros valores posibles), y utilizan un orden

(16) Este método calcula para cada a un límite inferior y otro superior que proporciona un rango de valores para los inputs y outputs del problema. h-posibilístico para aplicar un contexto fuzzy a los elementos del modelo DEA.

Por ultimo, queremos destacar la aportación realizada por Leon, Liern, Ruiz y Sirvent (2003) en la que se emplea, asimismo, la programación lineal posibilística para el tratamiento de la incertidumbre en los inputs y outputs del problema. Estos autores desarrollan un modelo, conocido como LLRS, en el que se presenta una versión del modelo DEA clásico<sup>17</sup> en un contexto fuzzy. Este modelo es el que proponemos y empleamos a continuación para el estudio de la eficiencia del Sistema Portuario Español, objeto final de la presente obra.

Para la aplicación del DEA en un entorno fuzzy vamos a suponer que el input (inmovilizado neto) y los outputs (tráficos) del conjunto de puertos cuya eficiencia queremos evaluar no son conocidos con exactitud y pueden ser representados por números fuzzy triangulares.

El hecho de suponer que todas las observaciones son números fuzzy no resta información al problema, puesto que si hubiese algún valor cierto o "crisp" podría ser representado como un número fuzzy caracterizado por una función de pertenencia de un único valor.

Retomando la formulación del modelo CCR al suponer que los inputs y outputs son números *fuzzys*, el modelo CCR quedaría expresado según se muestra en la ecuación [3.18]:

Min  
s.a: [3.18]  

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} \widetilde{X}_{ij} \leq \theta \widetilde{X}_{i0} \qquad i = 1, 2, ..., m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} \widetilde{Y}_{ij} \geq \widetilde{Y}_{r0} \qquad r = 1, 2, ..., s$$

$$\lambda_{j} \geq 0 \qquad \qquad j = 1, 2, ..., n$$

- (17) En concreto, estos autores proponen una versión fuzzy del modelo BCC.
- (18) El término "crisp" se utiliza como adjetivo calificativo antónimo de "fuzzy".

Donde  $\tilde{X}_{ij}$  e  $\tilde{y}_{rj}$  son los inputs y outputs fuzzy de la unidad j que sustituye a los valores ciertos del modelo CCR usual.

En la aplicación del modelo vamos a suponer que el input y outputs considerados son variables fuzzy que se pueden representar mediante números fuzzy L-R (izquierda-derecha) de tipo triangular, muy empleados en la práctica ya que permiten modelizar un amplio abanico de situaciones.

En general, un número fuzzy triangular  $\tilde{N} = (n, \omega^L, \omega^R)^{19}$ , con una función de pertenencia  $\mu_{\tilde{N}}(r)$ , tendría la siguiente representación gráfica (Figura 3.1):

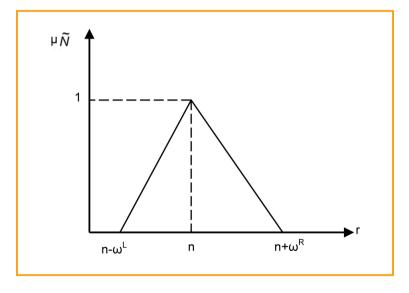


Figura 3.1. Número fuzzy triangular  $(\tilde{N})$ 

Si además suponemos que, con soporte finito, todas las funciones de referencia por la izquierda asociadas a un mismo input o output sean iguales, al igual que todas las funciones de referencia por la derecha asociadas a un mismo input o output, tal y como

(19) En el caso de que  $\omega L=\omega R=\omega$ , sería un número triangular simétrico.

aparece reflejado en las ecuaciones [3.19], el problema anterior (modelo LLRS) quedaría representado por la ecuación [3.20]:

$$\begin{split} \widetilde{X}_{ij} &= (X_{ij}^{L}, X_{ij}^{R}, \alpha_{ij}^{L}, \alpha_{ij}^{R})_{L_{ij}, R_{ij}} & i = 1, ..., m \quad j = 1, ..., n \\ \widetilde{Y}_{ij} &= (Y_{ij}^{L}, Y_{ij}^{R}, \beta_{ij}^{L}, \beta_{ij}^{R})_{L_{ij}, R_{ij}^{*}} & r = 1, ..., s \quad j = 1, ..., n \\ L_{i1} &= ...L_{in} \coloneqq L_{i} & i = 1, ..., m \\ L_{r1} &= ...L_{in} \coloneqq L_{r} & r = 1, ..., s \\ R_{i1} &= ...R_{in} \coloneqq R_{i} & i = 1, ..., m \\ R_{r1}^{*} &= ...R_{in}^{*} \coloneqq R_{r}^{*} & r = 1, ..., s \end{split}$$

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta_{0} \\ & \text{s.a:} \end{aligned} \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} x_{ij}^{L} \leq \theta_{0} x_{i0}^{L} & i = 1, ..., m \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} x_{ij}^{R} \leq \theta_{0} x_{i0}^{R} & i = 1, ..., m \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} x_{ij}^{L} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} \alpha_{ij}^{L} \leq \theta_{0} x_{i0}^{L} - \theta_{0} \alpha_{i0}^{L} & i = 1, ..., m \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} x_{ij}^{R} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} \alpha_{ij}^{R} \leq \theta_{0} x_{i0}^{R} + \theta_{0} \alpha_{i0}^{R} & i = 1, ..., m \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} y_{ij}^{L} \geq y_{r0}^{L} & r = 1, ..., s \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} y_{ij}^{R} \geq y_{r0}^{R} & r = 1, ..., s \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} y_{ij}^{R} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} \beta_{ij}^{R} \geq y_{r0}^{R} + \beta_{r0}^{R} & r = 1, ..., s \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} y_{ij}^{R} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} \beta_{ij}^{R} \geq y_{r0}^{R} + \beta_{r0}^{R} & r = 1, ..., s \\ & \lambda_{i} \geq 0 & j = 1, ..., n \end{aligned}$$

En la formulación anterior [3.20], la resolución del problema nos proporciona la evaluación de una unidad considerando todos los posibles valores que las variables pueden tomar, para el conjunto de DMUs analizadas. No obstante, en ocasiones interesa conocer los resultados del análisis de eficiencia para un nivel de posibilidad ( $\alpha$ ) determinado, o incluso, conocer cómo cambian los niveles de eficiencia de las diferentes DMUs al variar el nivel de posibilidad considerado.

Con este objeto, el modelo anterior se puede redefinir de forma que nos permita determinar los scores de eficiencia para distintos niveles de posibilidad del número fuzzy, dando lugar al modelo LLRS  $(\alpha)$ , según indica la ecuación [3.21].

$$\begin{split} &\text{MinE}(\alpha) = \theta_0 \\ &\text{s.a.}: \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^L \leq \theta_0 x_{i0}^L & \text{i} = 1,...,m \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^R \leq \theta_0 x_{i0}^R & \text{i} = 1,...,m \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^L - L_i\left(\alpha\right) \sum_{j=1}^n \lambda_j \alpha_{ij}^L \leq \theta_0 x_{i0}^L - \theta_0 \alpha_{i0}^L & \text{i} = 1,...,m \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^R + R_i\left(\alpha\right) \sum_{j=1}^n \lambda_j \alpha_{ij}^R \leq \theta_0 x_{i0}^R + \theta_0 \alpha_{i0}^R & \text{i} = 1,...,m \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij}^L \geq y_{r0}^L & \text{r} = 1,...,s \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij}^R \geq y_{r0}^R & \text{r} = 1,...,s \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij}^L - L_i^L\left(\alpha\right) \sum_{j=1}^n \lambda_j \beta_{ij}^R \geq y_{r0}^L - \beta_{r0}^L & \text{r} = 1,...,s \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij}^R + R_i^L\left(\alpha\right) \sum_{j=1}^n \lambda_j \beta_{ij}^R \geq y_{r0}^R + \beta_{r0}^R & \text{r} = 1,...,s \\ &\lambda_i \geq 0 & \text{j} = 1,...,n \end{split}$$

Suponiendo que el input y los outputs considerados son números fuzzy triangulares simétricos, en los que el input [  $\tilde{x}_{ij} = (x_{ij}, \omega_{ij})$  ] y el output [  $\tilde{y}_{rj} = (y_{rj}, \beta_{rj})$  ] quedan representados por sus valores centrales y posibles variaciones, la ecuación [3.21] se transformaría en el modelo [3.22]

$$\begin{split} &\text{Min}\, \text{E}(\alpha) = \theta_0 \\ &\text{s.a.} : \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - (1-\alpha) \sum_{j=1}^n \lambda_j \omega_{ij} \leq \theta_0 x_{i0} - (1-\alpha) \, \theta_0 \omega_{i0} \;, \quad i = 1,...,m \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + (1-\alpha) \sum_{j=1}^n \lambda_j \omega_{ij} \leq \theta_0 x_{i0} + (1-\alpha) \, \theta_0 \omega_{i0} \;, \quad i = 1,...,m \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij} - (1-\alpha) \sum_{j=1}^n \lambda_j \beta_{ij} \geq y_{r0} - (1-\alpha) \, \beta_{r0} \;, \qquad r = 1,...,s \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij} + (1-\alpha) \sum_{j=1}^n \lambda_j \beta_{ij} \geq y_{r0} + (1-\alpha) \, \beta_{r0} \;, \qquad r = 1,...,s \\ &\lambda_i \geq 0 \;, \qquad j = 1,...,n \end{split}$$

Con el fin de analizar la eficiencia del Sistema Portuario español en este nuevo contexto, hemos aplicado el modelo LLRS ( $\alpha$ ) (ecuación [3.22]) a la media de los valores del input y outputs de cada uno de los puertos que conforman el actual SPE, a excepción del Puerto de Bahía de Algeciras, por haber sido catalogada como unidad influyente en el sistema en el capitulo anterior.

Para el cálculo de los números L-R *fuzzy* hemos tomando como desviaciones por la izquierda y por la derecha valores considerados en al análisis de las tolerancias, convirtiendo el número L-R *fuzzy* en un número *fuzzy* triangular.

Definidos las variables, resolvemos el modelo LLRS ( $\alpha$ ) con valores de  $\alpha$  que varían entre 0 y 1, con un incremento de 0,1 respecto del anterior. De esta forma podemos obtener los scores determinantes del nivel de eficiencia de cada uno de los puertos analizados, para once niveles de posibilidad ( $\alpha$ ) diferentes. Los resultados se muestran en la Tabla 3.11.

Obtenidos los scores para los niveles de posibilidad ( $\alpha$ ) señalados, queremos destacar que, tal y como se observa en la *Tabla* 3.11, los índices de eficiencia comprendidos entre  $\alpha$ =0 y  $\alpha$ =0,9 son siempre mayores a los scores que obtendríamos para  $\alpha$ =1. Este último valor correspondería al análisis de la eficiencia en un contexto "crisp", considerando como ciertos los valores centrales de los números *fuzzy* triangulares.

Tabla 3.11. Scores de eficiencia del DEA fuzzy: modelo LLRS (α)

	α = 0	α = 0,1	α = 0,2	α = 0,3	α = 0,4	α = 0,5	$\alpha = 0,6$	α = 0,7	$\alpha = 0.8$	α = 0,9	α = 1,0
A Coruña	0,762	0,758	0,753	0,749	0,745	0,741	0,737	0,733	0,729	0,725	0,721
Alicante	0,366	0,364	0,362	0,360	0,358	0,356	0,355	0,353	0,351	0,349	0,348
Almería	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Avilés	0,782	0,778	0,775	0,771	0,768	0,764	0,76	0,758	0,754	0,751	0,747
Bahía de Cádiz	0,411	0,407	0,403	0,399	0,396	0,393	0,389	0,386	0,382	0,379	0,376
Baleares	0,894	0,889	0,884	0,879	0,873	0,868	0,863	0,858	0,853	0,848	0,843
Barcelona	0,718	0,716	0,714	0,712	0,711	0,709	0,707	0,706	0,704	0,703	0,701
Bilbao	0,619	0,615	0,612	0,608	0,605	0,602	0,598	0,59	0,592	0,588	0,585
Cartagena	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Castellón	0,996	0,992	0,988	0,984	0,980	0,976	0,972	0,969	0,965	0,961	0,958
Ceuta	0,567	0,564	0,561	0,557	0,554	0,551	0,548	0,544	0,541	0,538	0,535
Ferrol-S.Cibrao	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gijón	0,647	0,645	0,643	0,641	0,638	0,636	0,634	0,633	0,631	0,629	0,627
Huelva	0,554	0,553	0,551	0,549	0,547	0,546	0,544	0,542	0,540	0,538	0,537
Las Palmas	0,666	0,663	0,660	0,657	0,655	0,652	0,649	0,646	0,644	0,641	0,638
Málaga	0,578	0,574	0,571	0,568	0,564	0,561	0,557	0,554	0,550	0,546	0,542
Marín y R. Pont.	0,541	0,537	0,534	0,531	0,528	0,525	0,522	0,519	0,516	0,513	0,510
Melilla	0,241	0,239	0,238	0,236	0,235	0,233	0,232	0,231	0,229	0,228	0,227
Motril	0,633	0,631	0,630	0,629	0,627	0,626	0,625	0,624	0,623	0,622	0,620
Pasajes	0,627	0,622	0,618	0,613	0,608	0,604	0,599	0,595	0,590	0,586	0,581
S.C.Tenerife	0,748	0,744	0,739	0,735	0,739	0,727	0,722	0,718	0,714	0,710	0,706

	α = 0	α = 0,1	α = 0,2	α = 0,3	α = 0,4	α = 0,5	α = 0,6	α = 0,7	α = 0,8	α = 0,9	α = 1,0
Santander	0,266	0,264	0,262	0,261	0,259	0,257	0,255	0,253	0,252	0,250	0,248
Sevilla	0,241	0,240	0,239	0,238	0,237	0,235	0,234	0,233	0,232	0,230	0,229
Tarragona	0,938	0,935	0,933	0,931	0,929	0,926	0,924	0,922	0,920	0,917	0,915
Valencia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vigo	0,574	0,570	0,567	0,564	0,561	0,558	0,555	0,552	0,549	0,546	0,543
Vilagarcía	0,355	0,354	0,353	0,352	0,351	0,350	0,349	0,349	0,347	0,347	0,346

Analizando los resultados de la aplicación del modelo DEA fuzzy al análisis de la eficiencia del SPE (Tabla 3.11) podemos extraer las siguientes conclusiones:

**Primero.** Los valores de los *scor*es obtenidos para los diferentes niveles de posibilidad  $(\alpha)$  conservan una gran regularidad. Esto significa que cada unidad o puerto conserva su nivel de eficiencia con independencia del nivel de posibilidad analizado.

**Segundo.** Estos coeficientes, además, son algo superiores pero muy similares a los que obtendríamos si valorásemos la eficiencia de cada puerto en términos de certeza, es decir, con los valores centrales de los números triangulares (problema "crisp" para  $\alpha=1$ ). Por tanto, la introducción de incertidumbre en el input o outputs, valorada a partir del modelo DEA *fuzzy*, no modifica sustancialmente la valoración de la eficiencia del conjunto de puertos pertenecientes al SPE respecto a la obtenida en condiciones de certeza.

**Tercero.** La aplicación del DEA *fuzzy* al Sistema Portuario Español revela que los puertos de Almería, Cartagena, Ferrol-San Cibrao y Valencia son completamente eficientes (*score* unitario), con independencia del nivel de posibilidad (α) considerado.

**Cuarto.** Ninguno de los puertos considerados que no son eficientes al máximo en un entorno cierto ( $\alpha$ =1) lo son en condiciones de incertidumbre, tras ser analizados en un contexto *fuzzy*. En otras palabras, aunque los valores del input y outputs empleados en el análisis no fueran los ciertos y los verdaderos valores de éstos fueran otros, la valoración de la eficiencia de los puertos no experimentaría grandes diferencias.

# 3.5. Caracterización detallada del grupo principal con el análisis de tolerancias y modelo fuzzy

Tras el estudio global de la eficiencia del conjunto de puertos pertenecientes al Sistema Portuario Español en un contexto de incertidumbre, y siguiendo el mismo enfoque estructural de los capítulos precedentes, en este epígrafe vamos a profundizar en los resultados obtenidos para el grupo de puertos principal (Grupo 3, sin Bahía de Algeciras). Para ello, vamos a emplear dos de las metodologías expuestas con anterioridad: el análisis de tolerancias y el DEA fuzzy, con el objeto de concretar más el análisis realizado y obtener un ranking que nos permita establecer la ordenación jerárquica de los puertos que integran el Grupo 3, en función de su nivel de eficiencia.

A partir de los datos del ejercicio 2008 (*Tabla* 3.12), hemos aplicado el análisis de tolerancias a los 6 puertos pertenecientes al GRUPO 3<sup>20</sup> (Baleares, Barcelona, Las Palmas, Melilla Valencia y Vigo). En este caso, hemos supuesto unas posibles variaciones en el input (Inmovilizado neto) y outputs considerados (tráficos de graneles líquidos -GL-, graneles sólidos -GS- y mercancía general -MG-), o tolerancias, asimétricas. En concreto, partimos de una tolerancias del 5% por la izquierda (unas posibles reducciones del 5% en el input y outputs considerados) y una tolerancia del 10% por la derecha (posibles incrementos del 10% en los mismos).

(20) Recordamos que inicialmente el GRUPO 3 estaba compuesto por 7 puertos ya que incluíamos a la Autoridad Portuaria de Bahía de Algeciras. Sin este puerto, son seis los que integran dicho grupo.

Tabla 3.12. GRUPO 3. Datos input y outputs (2008)

PUERTOS GRUPO 3	INMOV Neto (miles €)	GL (miles Tn)	GS(miles Tn)	MG(miles Tn)
Baleares	338.087,32	2.074	2.131	9.018
Barcelona	1.671.092,03	12.105	3.506	34-935
Las Palmas	752.384,41	4.739	1.159	17.842
Melilla	127.557,69	71	34	641
Valencia	1.185.683,25	5.968	5.137	48.224
Vigo	221.339,26	58	458	4.102

Fuente: Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad Estatal, 2008.

(21) Valores expresados en miles de euros.

(22) Valores expresados en miles de Tn.

Con el fin de comparar los resultados del análisis de tolerancias con los del DEA fuzzy, hemos introducido la misma incertidumbre en los datos (posible variación del 5% por la izquierda y del 10% por la derecha) obteniendo de esta forma los números fuzzy triangulares para los valores del input y outputs empleados, que en general se pueden expresar como  $\tilde{N} = (O, L, R)$ , siendo O el valor original, L el valor inferior o izquierdo del número fuzzy triangular y R el valor superior o derecho de dicho número. Los valores concretos de los números fuzzy triangulares para el output (inmovilizado neto²¹) y los outputs empleados (GL, GS y MG²²), para los puertos pertenecientes al grupo 3, vienen recogidos en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. GRUPO 3. Números fuzzy triangulares del input y outputs

Grupo 3:		Graneles Líquidos (GL)	
PUERTOS	L	0	R
Baleares	1.970,3	2.074	2.281,4
Barcelona	11.862,9	12.105	13.315,5
Las Palmas	4.644,2	4.739	5.212,9
Melilla	69,6	71	78,1
Valencia	5.848,6	5.968	6.564,8
Vigo	56,8	58	63,8

		Graneles Sólidos (GS)	
PUERTOS	L	0	R
Baleares	2.024,5	2.131	2.344,1
Barcelona	3.435,9	3.506	3.856,6
Las Palmas	1.135,8	1.159	1.274,9
Melilla	33,3	34	37,4
Valencia	5.034,3	5.137	5.650,7
Vigo	448,8	458	503,8
	1	Mercancía General (MO	5)
PUERTOS	L	0	R
Baleares	8.567,1	9.018	9.919,8
Barcelona	34.236,3	34-935	38.428,5
Las Palmas	17.485,2	17.842	19.626,2
Melilla	628,2	641	705,1
Valencia	47.259,5	48.224	53.046,4
Vigo	4.020,0	4.102	4.512,2
		INMOV Neto	
PUERTOS	L	0	R
Baleares	321.183,0	338.087,3	371.896,0
Barcelona	1.637.670,2	1.671.092,0	1.838.201,2
Las Palmas	737.336,7	752.384,4	827.622,9
Melilla	125.006,5	127.557,7	140.313,5
Valencia	1.161.969,6	1.185.683,3	1.304.251,6
Vigo	216.912,5	221.339,3	243.473,2

Aplicando el modelo de tolerancias descrito anteriormente (ecuación [3.11]) a estos datos obtenemos un conjunto de scores indicativos del nivel de eficiencia de las unidades analizadas en un contexto de incertidumbre. La *Tabla* 3.14 ilustra los resultados obtenidos en dicho análisis, indicando el score obtenido a partir de los datos originales (ORIGINAL) y los dos casos extremos definidos en el modelo: el score máximo que se obtendría en el mejor caso posible (MAX) y el score mínimo alcanzado en la peor de las situaciones (MIN). Junto a estos datos, la *Tabla* 3.14 muestra el score medio (MEDIA) y los dos ratios de eficiencia propuestos (R¹<sub>jo</sub> y R²<sub>jo</sub>)<sup>23</sup> para la j₀-ésima unidad que nos permitirán detallar una ordenación jerárquica de las unidades consideradas en función de su nivel de eficiencia.

Tabla 3.14. GRUPO 3. Scores y ordenación del DEA con tolerancias

orden	DMUs	MAX	ORIGINAL	MIN	media	R¹	R²
1	Baleares	1	1	1	1	1	
1	Valencia	1	1	1	1	1	
3	Barcelona	1	1	0,8591	0,9934	0,8272	0,8191
4	Las Palmas	1	0,9341	0,6967	0,9170	0,2840	0,8525
5	Vigo	0,6236	0,4651	0,3469	0,4686	0	0,4597
6	Melilla	0,1657	0,1236	0,0922	0,1245	0	0,1221

Fuente: elaboración propia

De la aplicación del análisis de tolerancias a los puertos que conforman el Grupo 3, podemos extraer las siguientes conclusiones:

(23) Estos ratios están descritos en el epígrafe 3.3.1.

**Primero**. Como puede observarse en la *Tabla* 3.14, únicamente dos puertos –Baleares y Valencia- son completamente eficientes (scores unitarios) tanto si suponemos certeza en los datos (valores originales), como si suponemos posibles variaciones en el

input y outputs. En esta última situación, los puertos de Baleares y Valencia siguen siendo completamente eficientes en el mejor y peor de los casos posibles. En función de los ratios R<sup>1</sup> y R<sup>2</sup> ocupan el primer puesto en el ranking de los puertos de este grupo.

**Segundo**. El siguiente puerto en la clasificación dada por los ratios anteriores, es el puerto de Barcelona. Este puerto es originariamente muy eficiente (score unitario) y seguirá siéndolo en el mejor de los casos. Por contra, en el peor de los casos, esto es, si este puerto de Barcelona aumentara su inmovilizado, suponiendo que el resto de puertos del grupo lo reducen (según los niveles de tolerancias definidos), y redujera sus tráficos, mientras que el resto de puertos los aumenta, dejaría de ser completamente eficiente (score MIN de 0,8591).

**Tercero.** En cuarto lugar, en la ordenación jerárquica de los puertos en función de su nivel de eficiencia, encontramos al puerto de Las Palmas. Respecto a este puerto, podemos afirmar que si bien no es completamente eficiente en sus orígenes, podría llegar a serlo en el mejor de los casos. No obstante, si se da la situación más desfavorable obtiene un *score* de 0,6967, bastante alejado del óptimo.

**Cuarto**. En quinto y sexto lugar del ranking de eficiencia están los puertos de Vigo y Melilla, respectivamente. Ambos puertos son ineficientes de partida (sobre todo el puerto de Melilla), pudiendo empeorar en el peor de los casos. Aunque mejorarían si se diera la mejor situación posible, no llegarían a ser completamente eficientes.

Para el análisis DEA fuzzy de los datos anteriores, vamos a seguir el modelo propuesto por Kao y Liu  $(2000)^{24}$ , que proponen obtener la función de pertenencia de la eficiencia de la DMU  $j_0$  a partir de intervalos:  $E_{j0}(\alpha) = [E_{j0}^{L}(\alpha), E_{j0}^{U}(\alpha)]$ , en un modelo de  $\alpha$ -cortes con distintos niveles de posibilidad  $(\alpha)$ . Los límites inferior y superior del intervalo que define la función de per-

(24) También podia utilizarse el modelo LLRS descrito en el epígrafe anterior, pero por simplicidad se ha decidido utilizar el modelo de Kao y Liu. tenencia señalada vienen dados por los siguientes modelos de programación matemática ([3.23] y [3.24]):

$$\begin{split} &E^L_{j0}(\alpha) = Min \ \theta \\ &s.a. : \\ &\sum_{j=1,j\neq j_0}^n \lambda_j x^L_{ij}(\alpha) + \lambda_{j_0} x^U_{ij_0}(\alpha) \leq \theta \ x_{i0} \ , \quad \forall i \\ &\sum_{j=1,j\neq j_0}^n \lambda_j y^U_{rj}(\alpha) + \lambda_{j_0} y^L_{rj_0}(\alpha) \geq \ y_{r0} \ , \quad \forall r \\ &\lambda_j \geq 0 \ , \qquad \forall j \end{split}$$

$$\begin{split} E^{\text{U}}_{j0}(\alpha) &= \text{Min } \theta \\ \text{s.a.}: & [3.24] \\ \sum_{j=1,j\neq j_0}^n \lambda_j x^{\text{U}}_{ij}(\alpha) + \lambda_{j_0} x^{\text{L}}_{ij_0}(\alpha) &\leq \theta \ x_{i0} \ , \quad \forall i \\ \sum_{j=1,j\neq j_0}^n \lambda_j y^{\text{L}}_{ij}(\alpha) + \lambda_{j_0} y^{\text{U}}_{ij_0}(\alpha) &\geq \ y_{r0} \ , \quad \forall r \\ \lambda_i &\geq 0 \ , \qquad \forall j \end{split}$$

A partir de la ecuaciones [3.23] y [3.24] resolvemos el modelo DEA fuzzy para distintos valores de  $\alpha$  y obtenemos una cota inferior (o "lower", que representamos como L) y una cota superior (o "upper" a la que llamamos U) para los scores o índices de eficiencia. De esta forma, a partir de los números fuzzy triangulares definidos para el input y los outputs, obtenemos no un sólo score determinante del nivel de eficiencia de cada uno de los puertos analizados, sino un intervalo [L,U] que mide la posible variabilidad del nivel de eficiencia de cada DMU, para seis niveles de posibilidad ( $\alpha$ ) diferentes. Los resultados, para valores de  $\alpha$  entre 0 y I, con un incremento de 0,2 respecto del anterior, se muestran en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. GRUPO 3. Scores DEA fuzzy ( $\alpha$ -cortes)

	α = 0		α = 0,2		α =	α = 0,4		0,6	α =	0,8	α = 1	
DMUs	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
Baleares	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Barcelona	0,8591	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Las Palmas	0,6967	1	0,8322	1	0,8684	1	0,9046	1	0,91935	0,96705	0,9341	0,9341
Melilla	0,0922	0,1657	0,1101	0,1386	0,11245	0,13435	0,1148	0,130	0,1192	0,12685	0,1236	0,1236
Valencia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vigo	0,3469	0,6236	0,4136	0,5221	0,4262	0,50915	0,4388	0,4962	0,45195	0,48065	0,4651	0,4651

De los resultados obtenidos tras la aplicación del análisis DEA fuzzy a los puertos que conforman el Grupo 3 (Tabla 3.15), podemos concluir lo siguiente:

**Primero**. Los puertos de Baleares y Valencia son los únicos del grupo que se mantienen en el nivel óptimo de eficiencia (*score* unitario) para los cinco niveles de posibilidad ( $\alpha$ ) analizados, tanto en su cuota inferior (L) como en la superior (U).

**Segundo.** Los scores obtenidos de la aplicación del DEA fuzzy demuestran que el puerto de Barcelona es, junto con los anteriores, uno de los puertos más eficientes del grupo. El score obtenido es unitario para todos los niveles de posibilidad considerados, a excepción de la cuota inferior para  $\alpha$ =0.

**Tercero.** El puerto de Las Palmas no es completamente eficiente si lo valoramos en condiciones de certeza, esto es, con los valores centrales de los números triangulares (problema "crisp" para  $\alpha=1$ ), pero podría llegar a serlo como muestran los scores obtenidos al considerar otros niveles de posibilidad (en concreto, para  $\alpha=0$ , 0'2, 0'4 y 0,6).

**Cuarto.** Completan el grupo los puertos de Melilla y Vigo. Estos puertos son calificados como poco eficientes, independientemente del nivel de posibilidad considerado.

La disposición de las unidades en orden decreciente en función únicamente de los valores de sus scores nos proporcionaría una ordenación aproximada, no del todo precisa, de los puertos analizados. Para establecer un ranking u orden jerárquico de las unidades

en función de su nivel de eficiencia, calculado a partir del DEA fuzzy, vamos a emplear el índice propuesto por Chen y Klein (1997). Estos autores elaboran un índice, al que vamos a denominar Índice C-K (I<sup>C-K</sup>), para la ordenación de números fuzzy. Su formulación se recoge en la ecuación [3.25].

$$I_{j}^{C-K} = \frac{\sum_{k=0}^{N} (E_{j}^{U}(\alpha_{k}) - c)}{\sum_{k=0}^{N} (E_{j}^{U}(\alpha_{k}) - c) - \sum_{k=0}^{N} (E_{j}^{L}(\alpha_{k}) - d)}, \qquad j = 1...n$$
[3.25]

Donde  $\mathbf{c} = \min_{i,j} \left\{ E_{i,j}^L(\mathbf{a}_k) \right\} \ \ \, \mathbf{y} \ \, \mathbf{d} = \max_{i,j} \left\{ E_{i,j}^U(\mathbf{a}_k) \right\} \ \ \,$ . Calculado este índice para la DMU y la DMU, podemos afirmar que la DMU, es más eficiente que la DMU, siempre que  $\mathbf{l}_i^{\mathrm{C-K}} > \mathbf{l}_h^{\mathrm{C-K}}$ 

Tabla 3.16. GRUPO 3. Ordenación según Índice C-K

Orden	DMUs	lc-ĸ
1	Baleares	1
1	Valencia	1
3	Barcelona	0,978
4	Las Palmas	0,870
5	Vigo	0,423
6	Melilla	0,047

Fuente: elaboración propia

El cálculo del *Índice C-K* con los puertos clasificados en el Grupo 3 nos permite ordenar jerárquicamente las unidades que lo integran. La ordenación de los puertos obtenida, en función de la disposición en sentido decreciente de los valores obtenidos para el índice propuesto, queda recogida en la *Tabla* 3.16. Como puede observarse, las unidades más eficientes son las que mayor valor del índice presentan: los puertos de Baleares y Valencia. Estos dos puertos ocupan el primer puesto en el ranking al presentar empate

en el valor unitario del Índice C-K. El tercer puerto en eficiencia es el de Barcelona seguido, en cuarto lugar, del puerto de Las Palmas. El quinto puesto corresponde al puerto de Vigo y cierra la ordenación, a gran distancia de su predecesor, el puerto de Melilla.

Si comparamos esta última ordenación (*Tabla* 3.16) con el ranking de puertos obtenido a partir de la aplicación del DEA con tolerancias (*Tabla* 3.14) podemos comprobar que son totalmente coincidentes. Este hecho corrobora la ordenación propuesta y pone de manifiesto la legitimidad de ambas metodologías empleadas en el estudio, con incertidumbre, de la eficiencia portuaria.

#### 3.6. Ranking de puertos

En el capitulo anterior (epígrafe 2.1.4) propusimos el modelo FDH como una medida adicional para la evaluación de la eficiencia de los puertos<sup>25</sup>. Uno de los problemas que presenta este tipo de modelos es la existencia de múltiples unidades eficientes, con ello es difícil jerarquizar las unidades, ya que si erróneamente se usaran los *scores* originales habría una multitud de empates en la primera posición, lo que dificultaría el análisis comparativo.

Una solución a este problema consiste en usar los indicadores R<sup>1</sup> y R<sup>2</sup> de los modelos de tolerancias descritos previamente. Las tolerancias usadas son las mismas que se han venido utilizando en los análisis previos. La *Tabla* 3.17 recoge, a modo de ejemplo, estos valores para el año 1994 y para la totalidad de los 28 puertos pertenecientes al SPE; con ello es fácil establecer una jerarquización de los puertos en función de los indicadores utilizados.

(25) En el epígrafe 2.2.6 se recogen los scores de eficiencia de las DMUs analizadas, obtenidos con esta metodología.

Tabla 3.17. Valores de R<sup>1</sup> y R<sup>2</sup> para el año 1994

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

La ordenación obtenida para la totalidad de períodos analizados, queda reflejada en la *Tabla* 3.18. Como puede observarse, el puerto de Algeciras alcanza casi siempre las primeras posiciones: en los primeros años es la segunda DMU más eficiente y a partir del año 2000, la primera. El cálculo de la parte entera del valor medio de las diferentes posiciones (última columna de la *Tabla* 3.18) muestra que el puerto de Bahía de Algeciras alcanza el número I en la ordenación de todo el horizonte temporal considerado.

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

Tabla 3.18. Ordenación según el procedimiento de ranking para 28 puertos

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Media entera
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
B. 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

		10	10		· ·	Φ.										Media entera
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Med
Ferrol- S. Cibrao	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 R. Pont.	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

La *Tabla* 3.19 muestra la ordenación de los puertos en base al criterio anterior, excluyendo al puerto de Bahía de Algeciras de la muestra. Como puede observarse, en este caso no hay ningún puerto que alcance (la parte entera del valor medio) el número 1. Por ello, el mejor puerto del sistema, esto es, el primero en el ranking, es el puerto de Valencia, que a partir del 2004 mantiene la primera posición. Cerca de él se sitúan los grandes puertos españoles: Bilbao, Barcelona y Tarragona. No obstante, el puerto de Bilbao muestra una tendencia a estar entre los mejores en el *ranking* de puertos analizados, mientras que el puerto de Barcelona presenta mayores oscilaciones en los últimos años.

Estos resultados son coherentes con los obtenidos previamente 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 SPE.

Tabla 3.19. Ordenación según el procedimiento de ranking para 27 puertos

																Media entera
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Media
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-S. Cibrao	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 R. Pont.	17	16	14	21	21	11	17	10	16	17	17	13	14	9	15	14
Melilla	10	19	21	23	23	26	26	26	24	19	22	26	25	27	27	24

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Media entera
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.Tene- rife	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

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, haciendo factible el poder priorizar aquellas que presenten mejores valores globales.

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.

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 la 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 (que apuntábamos en el capítulo anterior como un inconveniente del modelo) para este tipo de problemas, de tamaño pequeño-medio, no es importante.

A efectos ilustrativos presentamos un gráfico con la evolución en el *ranking* de los principales puertos, considerando 28 puertos en total (*Gráfico* 3.3), o bien, 27 puertos (*Gráfico* 3.4) al excluir el puerto de Bahía de Algeciras de la muestra analizada.

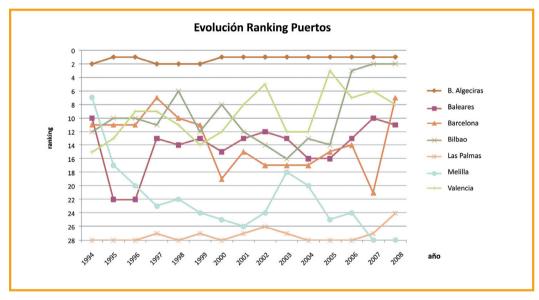


Gráfico 3.3. Evolución ranking (análisis de 28 puertos)

Fuente: elaboración propia

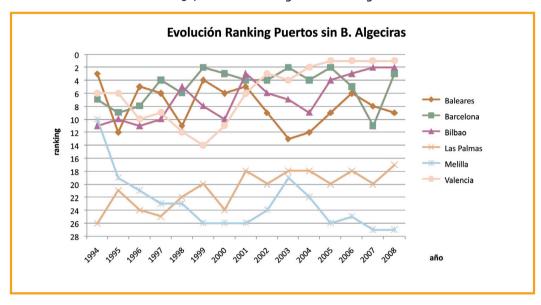


Gráfico 3.4. Evolución ranking sin Bahía de Algeciras

Con todo lo anterior podemos concluir lo siguiente:

**Primero**. Por los resultados alcanzados, consideramos que esta metodología, con la aplicación realizada, puede ser de utilidad para personas no expertas en el análisis de la eficiencia portuaria, pero que tienen la responsabilidad de gestionar importantes infraestructuras, como son los puertos.

Segundo. Como se ha señalado en el epígrafe anterior, estos resultados están en consonancia con los obtenidos a partir de los modelos DEA (CCR y BCC), tanto en el caso de todos los puertos como en la serie sin el puerto de Bahía de Algeciras. En consecuencia, se trata de una metodología adecuada para poder obtener información del comportamiento eficiente de los distintos puertos pertenecientes al SPE.



### Perspectivas futuras de la eficiencia del Sistema Portuario Español y conclusiones

Tras los resultados alcanzados en el estudio de la eficiencia del SPE a través de las diferentes técnicas y escenarios planteados en los capítulos anteriores, nos surgen multitud de interrogantes sobre la situación que nos deparará el futuro. Entre otras, cuestiones como si habrá un nuevo puerto que lidere el panorama portuario español en los próximos años, si existirán modificaciones importantes en el nivel de eficiencia de los puertos españoles, o se alterará el ranking establecido hasta ahora en los puertos nacionales en función de su nivel de eficiencia.

Para dar respuesta a estas y otras cuestiones necesitamos analizar las perspectivas futuras de la eficiencia del SPE. El estudio de la eficiencia futura de los puertos analizados implica hacer proyecciones hacia el futuro y previsiones sobre las principales variables empleadas en el análisis, es decir, los tráficos que soportará el conjunto de puertos nacionales (outputs) y las inversiones a efectuar, que nos llevarán a nuevas dimensiones en el input considerado. Para nuestro estudio, hemos partido de las previsiones realizadas por el *Organismo Público Puertos del Estado*, tanto a medio como a largo plazo (para el año 2013 y 2020), recogidas en el *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes (PEIT)*.

En el PEIT se presentan las previsiones en el tráfico, capacidad y grado de utilización de los distintos puertos nacionales (agrupados por fa-

04

chadas marítimas<sup>1</sup>) en dos escenarios distintos: en primer lugar, un escenario "sin actuaciones", en el que las AAPP no llevan a cabo las inversiones en las infraestructuras planificadas debido a la situación de crisis que atraviesa la economía española en nuestros días; y segundo, un escenario "con actuaciones" en el que realmente las AAPP efectúan nuevas inversiones y consolidan las ampliaciones previstas en los años anteriores.

Somos conscientes de que cualquier intento de realizar predicciones en plena crisis, con volúmenes de tráficos que rompen con una tendencia creciente que parecía firmemente consolidada, resulta como mínimo aventurada. Toda previsión de futuro, incierto por naturaleza, nos obliga a detenernos continuamente y analizar las diferencias entre lo observado y lo previsto, para hacer los ajustes pertinentes y llegar a nuevas predicciones más factibles y acordes con la realidad.

No obstante, no queremos que las dificultades para obtener previsiones fiables sean un obstáculo en el análisis, sino un reto que nos lleve a un conocimiento más amplio y profundo del nivel de eficiencia del SPE y su evolución en el tiempo. Con este fin, hemos estructurado el capítulo en cinco epígrafes: tras analizar la situación actual y las últimas actuaciones realizadas recientemente<sup>2</sup> por las AAPP, introducimos -en el segundo epígrafe- las previsiones efectuadas en el PEIT sobre la evolución del tráfico y las inversiones portuarias. A partir de estas previsiones, en el tercer epígrafe analizamos la eficiencia previsible de los puertos españoles a través de la aplicación del análisis DEA con tolerancias (descrito en el capítulo dos de la presente monografía), obteniendo un posible ranking entre las AAPP del territorio nacional. Siguiendo la estructura de los capítulos precedentes, en el cuarto epígrafe nos detenemos en el estudio pormenorizado del grupo principal de puertos.

Por último, finalizamos el presente trabajo destacando las principales conclusiones derivadas del mismo, añadiendo a los resul-

<sup>(1)</sup> Véase el Capitulo 1 sobre la adscripción de las AAPP a las diferentes fachadas.

<sup>(2)</sup> Período 2004-2008.

tados obtenidos en este último capítulo las principales conclusiones extraídas del trabajo en su globalidad.

#### 4.1. Introducción

Siguiendo la tendencia creciente de los años precedentes, el Sistema Portuario Español mantuvo durante el 2009 un gran esfuerzo inversor<sup>3</sup>, centrado fundamentalmente en la modernización de infraestructuras y aumento de la capacidad portuaria, seguida de las actuaciones en actividades logísticas, equipamiento e instalaciones, tal y como se muestra en la *Figura* 4.1.

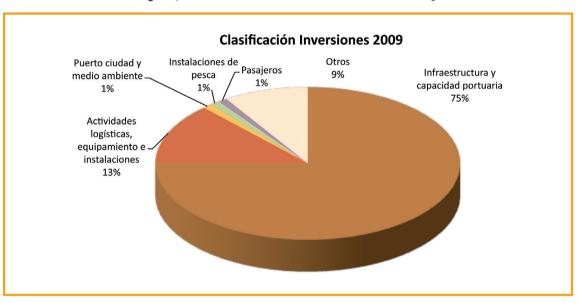


Figura 4.1. Clasificación de las inversiones del SPE en el 2009

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Anuario Estadístico de Puertos del Estado (2009)

(3) Concretamente, el SPE consolidó un volumen de inversión de 1.321,9 millones de euros en el 2008 y 1.144,2 millones de euros en el 2009.

Según datos de Puertos del Estado, en el período 2005-2008 se llevaron a cabo una serie de actuaciones que culminaron con la ampliación de algunas terminales y la creación de otras nuevas en AAPP ubicadas en las tres fachadas marítimas contempla-

das en el análisis: norte/noroeste, sur/este y no peninsular. La *Tabla 4*. I muestra las inversiones efectuadas en dicho período, diferenciando por categorías de terminales entre terminales de graneles líquidos (GL), termínales de gas natural licuado (GNL), terminales de mercancía general (MG), terminales polivalentes (PL) y terminales de contendores (CONT) <sup>4</sup>.

Como complemento a la anterior, en la *Tabla* 4.2 se concreta el tipo de actuaciones llevadas a término en cada una de las tres fachadas, incluyendo en las terminales de graneles líquidos las nuevas termínales de gas natural licuado, y dentro de las terminales de mercancía general a las polivalentes y las de contendores. En dicha tabla se detalla el número de terminales portuarias en cada fachada y la capacidad de las mismas, para el período 2004 y 2008. La comparativa de estas magnitudes nos permite observar el incremento en la capacidad total de los puertos analizados. Así, por ejemplo, las dos nuevas terminales de graneles sólidos de la fachada norte permitieron incrementar su capacidad en un 22%, mientras que las nueve terminales nuevas de graneles sólidos de la fachada sur/este consiguieron un aumento del 26,38% en su capacidad total.

Los parámetros físicos de dichas obras terminadas quedan detallados en la *Tabla* 4.3. En ella se especifica los conceptos que ocasionan el aumento de las infraestructuras marítimas: ampliación de los metros lineales de muelles, incremento de la superficie terrestre, o extensión de la superficie de mar abrigada.

Estas actuaciones pretendían atender un tráfico que se preveía creciente a comienzos de la década inicial, tal y como puede observarse en el *Gráfico* 4.1. No obstante, a mediados del 2008 la crisis económica actual, que ha afectado a la mayoría de sectores productivos nacionales, comenzó a hacer estragos en el tráfico portuario de la totalidad de los puertos pertenecientes al Sistema Portuario de Titularidad Estatal.

(4) Los códigos de terminales recogidas en la tabla 4.1 hacen referencia, en un primer nivel, al tipo de mercancías manipuladas: GL (granel líquido), GS (granel sólido), GNL (gas natural licuado), PL (polivalente), CONT (contenedores), HUB (contenedores tipo "hub"), etc., y, en un segundo nivel, a la capacidad de la terminal. Por ejemplo:

- GL-1 sería una terminal de granel sólido de una capacidad media de unos 590.000 TEU.
- GL-2 sería una terminal de granel sólido de una capacidad media de unos 2.500.000 TEU.
- HUB-1 sería una terminal de contenedores tipo "hub" de una capacidad media de unos 900.000 TEU.

Tabla 4.1. Categorías de terminales puestas en servicio período 2005-2008

Fachadas	Norte/ Noroeste	Sur/Este	No peninsular	Total
	1 paso de PL-1 a PL-2		1 paso de CONT-1 a CONT-2	1 paso de CONT-1 a CONT-2
Ampliaciones	1 paso de PL-2 a PL-3			1 paso de PL-1 a PL-2
				1 paso de PL-2 a PL-3
	1 terminal GNL-1	1 terminal GL-2	1 terminal MG-1	1 terminal GL-2
	2 terminales GS-3	1 terminal GL-4	1 terminal MG-2	1 terminal GL-4
	1 terminal MG-1	1 terminal GNL-1	2 terminales PL-1	2 terminales GNL-1
	1 terminal MG-2	3 terminales GS-1	1 terminal CONT-2	3 terminales GS-1
	1 terminal CONT-2	4 terminales GS-2		4 terminales GS-2
	1 terminal HUB-1	2 terminales GS-3		4 terminales GS-3
	1 terminal VEH-1	2 terminales MG-2		2 terminales MG-1
		1 terminal PL-1		5 terminales MG-2
Nuevas terminales		2 terminales PL-2		4 terminales PL-1
		1 terminal PL-3		2 terminales PL-2
		1 terminal CONT-1		1 terminal CONT-1
		2 terminales CONT-2		3 terminales CONT-2
		2 terminales HUB-1		3 terminales HUB-1
		3 terminales VEH-2		1 terminal VEH-1
				3 terminales VEH-2

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

Tabla 4.2. Capacidad y número de terminales en servicio según fachadas. Año 2004 y 2008

	Fachada Norte/Noroeste									
		2004		2008						
Tipo de terminal	Nº	Capacidad total (miles Tn)	Nº	Capacidad total (miles Tn)	Incremento Capacidad					
Granel líquido	13	64.685	14	69.284	7,11%					
Granel sólido	18	49.732	20	60.674	22,00%					
Mercancía general	35	49.448	39	55.719	12,68%					
	Fachada Sur/Este									
		2004 2008								
Tipo de terminal	Nº	Capacidad total (miles Tn)	Nº	Capacidad total (miles Tn)	Incremento Capacidad					
Granel líquido	34	189.541	37	216.711	14,33%					
Granel sólido	19	74-933	28 94.779		26,38%					
Mercancía general	45	70.050	56	83.329	18,96%					
		Fachada no pe	ninsu	lar						
		2004		2008						
Tipo de terminal	Nº	Capacidad total (miles Tn)	Nº	Capacidad total (miles Tn)	Incremento Capacidad					
Granel líquido	9	23.288	9	23.288	0,00%					
Granel sólido	7	6.228	7	6.228	0,00%					
Mercancía general	22	22.586	27	26.443	17,07%					

Fuente: elaboración propia a partir de datos del PEIT de Puertos del Estado

Tabla 4.3. Parámetros físicos de obras terminadas en el período 2005-2008

Fachadas	Norte/ Noroeste	Sur/Este	No Peninsular	TOTAL
Metros lineales de muelle	5.103	16.119	5.206	26.428
Hectáreas de superficie terrestre	104	442	75	621
Hectáreas de agua abrigada	100	512	38	650

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

En cifras, tal y como se refleja en el *Gráfico* 4.1, el tráfico total del SPE en el 2008 ascendió a 473,82 millones de toneladas, lo que supone un descenso, respecto al año anterior (483,16 millones de toneladas) del 1,93%. La misma tendencia puede observarse en el tráfico portuario del 2009 que, con un volumen total de 413 millones de toneladas, corrobora un descenso del tráfico del 12,31% respecto al período del 2008.

**Evolución inversiones SPE** 1321.900 1.400 1144.200 1113,7001099.400 1.200 878.00 1.000 782,800 694.800 800 405,7914 499,6815 545,100 600 400 200 0 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009

Gráfico 4.1. Evolución tráfico total SPE (2001-2009)

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Anuario Estadístico de Puertos del Estado (2008)

A continuación, presentamos las actuales previsiones de Puertos del Estado sobre tráficos portuarios e inversiones futuras, lo que nos permitirá posteriormente avanzar algunas conclusiones sobre la perspectiva futura de la eficiencia de los puertos que integran el SPE.

## 4.2. Perspectivas futuras de la evolución del Sistema Portuario Español

Dado que no existe acuerdo entre los principales analistas respecto a la posible fecha de salida de esta situación, al hablar de previsiones en tráficos futuros debemos ser bastante prudentes. Lejos quedan los incrementos en el tráfico de más de dos dígitos, y por ello, el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT) del Ministerio de Fomento, en el apartado de Transporte Marítimo y Puertos, incluye una serie de previsiones referentes a la evolución de los tráficos en las diferentes fachadas señaladas, que en el mejor de los casos supone un incremento del 6,49% para los próximos años.

Estas previsiones del tráfico (que se detallan en el epígrafe 4.2.1) son la base para determinar qué inversiones o actuaciones se realizarán en los puertos del SPE (epígrafe 4.2.2). Dada la actual situación de crisis económica previamente comentada, el PEIT determina unas previsiones de inversión bastante prudentes y admite como alternativa posible el no efectuar ningún tipo de actuaciones, es decir, no realizar nuevas inversiones en los próximos años, tal y como exponemos en epígrafe correspondiente.

#### 4.2.1 Perspectivas de evolución del tráfico marítimo

El PEIT proporciona las previsiones del crecimiento anual del tráfico en la totalidad de puertos pertenecientes al SPE, agrupados por fachadas, diferenciando 2 periodos: del 2009 al 2013 y del 2014 al 2020.

(5) Ver Tabla 4.4.

La *Tabla* 4.4 recoge las previsiones de la evolución anual del tráfico portuario en cada uno de los periodos, por fachadas marítimas. Como puede observarse, estas previsiones son bastante optimistas ya que en cualquier caso supone que va a haber a medio y largo plazo crecimientos (entre el 0,58% en el peor de los casos y el 6,49% en la mejor situación posible) en los tráficos del SPE. Esta tendencia rompe con la evolución analizada en los últimos años y, tal vez por este motivo, el PEIT sostiene previsiones más conservadoras para el segundo período analizado (2014-2020) frente al primero (2009-2013).

Tabla 4.4. Previsiones del crecimiento anual del tráfico por fachadas y períodos

Períodos		Tipos de tráficos								
2009-2013	GL	GS	MG							
No Peninsular	2,59 %	1,27 %	2,25%							
Norte-Noroeste	5,90 %	6,49 %	6,27%							
Sur-Este	4,69 %	5,22 %	3,52 %							
2014-2020	GL	GS	MG							
No Peninsular	1,19 %	0,58 %	1,03%							
Norte-Noroeste	2,68 %	2,94 %	2,85%							
Sur-Este	2,14%	2,38 %	1,61%							

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

En concreto, en el período 2009-2013 vamos a suponer un crecimiento diferenciado por fachadas, en el que puertos como A Coruña, Bilbao, Santander o Vigo (pertenecientes a la fachada Noroeste del territorio peninsular) van a experimentar los mayores crecimientos respecto al resto del SPE. Diferenciando en función del tipo de tráfico, las previsiones de crecimiento de graneles sólidos en los puertos de la península son las más optimistas (6,49% en la fachada Noroeste y 5,22% en la Sur-Este).

En el período 2014-2020, se hace más notable la huella de la actual crisis económica con tasas de crecimiento inferiores a las anteriores. El patrón de crecimiento en función del

tipo de tráficos se repite y sigue teniendo mayor incremento el tráfico previsto en graneles sólidos, seguidos de los graneles líquidos, en los puertos peninsulares.

Sin duda, estos últimos datos quedan lejos de la posible realidad, que probablemente responda a un patrón cíclico de la economía y proporcione niveles de tráfico mayores a los previstos. Por ello, al margen de los datos empleados en nuestro estudio, proponemos una verificación y adecuación continua de los valores empleados conforme el nivel de incertidumbre futura se reduzca.

### 4.2.2. Previsiones de las inversiones en el Sistema Portuario Español

El Sistema Portuario de Titularidad Estatal destinó en el 2008 un volumen de inversión de 1.321,9 millones de euros en obras de infraestructura portuaria. Estas inversiones, responden a un claro esfuerzo de los puertos nacionales centrado en la modernización de las infraestructuras y el aumento de la capacidad portuaria para dar respuesta a un crecimiento en los tráficos del SPE que ha sido superior al 38% en el período 2000-2007<sup>6</sup>. Contagiado por el efecto creciente de la evolución del tráfico portuario, el esfuerzo inversor del SPE ha presentado una clara tendencia creciente en los últimos años, a excepción del 2009 (ver *Gráfico* 4.2.).

El importe total de las inversiones ha ascendido a un montante total acumulado de 8.485,4 millones de euros para el período 2000-2009. Dicho importe debe ser cubierto en su mayoría por recursos generados por las propias AAPP a partir de los ingresos derivados de su actividad. Partiendo del principio de autosuficiencia financiera de las AAPP, existe el riesgo de que el coste de las infraestructuras se traslade a los clientes de los puertos (incrementando las tarifas aplicadas) afectando a la competitividad de la propia Autoridad Portuaria.

<sup>(6)</sup> Este dato se deduce del Gráfico 4.2.

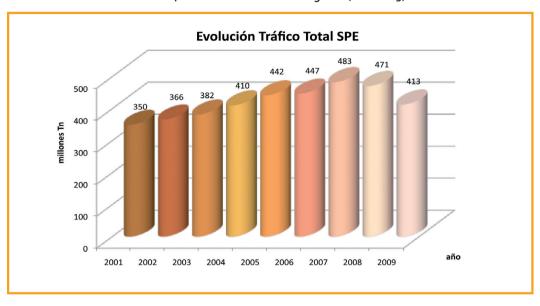


Gráfico 4.2. Evolución inversión SPE global (2000-2009)

Fuente: elaboración propia a partir de los Anuarios Estadísticos de Puertos del Estado (2000-09)

En este contexto, la oferta de infraestructuras y servicios portuarios debe adaptarse a la demanda que, en nuestro caso, es el tráfico portuario. Siendo conscientes de esta situación, Puertos del Estado en el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte efectúa previsiones sobre las inversiones o actuaciones de las AAPP en las infraestructuras portuarias, distinguiendo dos escenarios:

En el primero, suponemos que no se van a hacer nuevas inversiones, esto es, no va a haber actuaciones por parte de las AAPP para incrementar las infraestructuras de los puertos. A este escenario lo denominamos "SIN ACTUACIONES".

Esta situación sería coherente con las repercusiones en los tráficos debidas a la actual situación de crisis económica. Lejos quedan los elevados crecimientos de los tráficos en la actividad portuaria de principios de siglo y sin embargo, la inversión del SPE ha sido creciente en los últimos años como consecuencia de las obras que fueron planificadas y adjudicadas en los años de prosperidad. Por ello, resulta razonable suponer que no serán

necesarias nuevas inversiones y, por tanto, las AAPP no van a llevar a término nuevas actuaciones en infraestructura portuaria.

El segundo escenario, denominado "CON ACTUACIONES", contempla la posibilidad de que la situación económica mejore y sea posible abordar una serie de actuaciones en las diferentes fachadas analizadas.

El incremento de la inversión portuaria permitiría en el futuro mejorar al grado de ocupación de las diferentes terminales y, de esta forma, ser más competitivos en la calidad de los servicios prestados por las AAPP.

Siguiendo los escenarios detallados, a continuación señalamos las consecuencias que tendría sobre la evolución del tráfico, la capacidad de las terminales y su grado de ocupación si suponemos un escenario "SIN ACTUACIONES" en el que las AAPP no prevén efectuar nuevas inversiones en los períodos considerados: 2009-2013 y 2014-2020<sup>7</sup>. Esta información queda recogida en la *Tabla* 4.5 para la totalidad del SPE, en la que hemos incorporado los datos del ejercicio 2008 como referente con el objeto de establecer una comparativa entre los datos actuales y las previsiones propuestas.

De los datos recogidos en la *Tabla* 4.5 puede deducirse que, en términos generales, la no realización de actuaciones supondrá, como es lógico, un incremento del grado de ocupación de las diferentes terminales. En concreto, el porcentaje de ocupación total superaría el 50%, nivel de ocupación actual, para los dos horizontes temporales analizados. El problema se acentúa si observamos los diferentes tipos de tráfico, puesto que en los puertos que trafican con mercancía general su nivel de ocupación puede llegar al 62% en el primer tramo, y al 74% a largo plazo (período 2014-2020).

(7) Los datos empleados son anuales por término medio para el horizonte temporal contemplado.

Tabla 4.5. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras Sistema Portuario de Titularidad Estatal. Escenario SIN ACTUACIONES

Tipo		Año 2008			2009-201	3	2014-2020		
tråfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción
GL	153.974	317.146	49%	157.867	317.146	50%	174.400	317.146	55%
GS	101.338	223.961	45%	97.103	223.961	43%	117.650	223.961	53%
MG	165.259	297.861	55%	183.756	297.861	62%	219.303	297.861	74%
Total	420.571	838.968	50%	420.571	838.968	52%	420.571	838.968	61%

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

Esta misma información puede discriminarse en función de las fachadas marítimas que hemos definido. En concreto, las *Tablas* 4.6, 4.7 y 4.8 muestran las previsiones de la evolución del tráfico, la capacidad de las terminales y su grado de ocupación en un escenario "SIN ACTUACIONES" para la fachada norte-noroeste, sur-este y no peninsular, respectivamente.

El análisis de las cifras ofrecidas por la *Tabla* 4.6 nos lleva a concluir que los puertos de la fachada Norte-noroeste incrementarían notablemente su nivel de ocupación si las AAPP correspondientes deciden no llevar a cabo nuevas inversiones en los próximos años. Así, por ejemplo, a largo plazo los puertos del litoral norte-noroeste de la península pasarían de tener un nivel de ocupación global medio del 47% al 59%.

Tabla 4.6. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras Fachada Norte-Noroeste. Escenario SIN ACTUACIONES

Tipo	Año 2008			2009-2013			2014-2020		
tráfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción
GL	35.425	70.946	50%	38.419	70.946	54%	42.850	70.946	60%
GS	46.214	88.922	52%	46.452	88.922	52%	56.269	88.922	63%
MG	20.679	58.470	35%	24.118	58.470	41%	30.594	58.470	52%
Total	102.318	218.338	47%	108.989	218.338	50%	129.713	218.338	59%

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

La fachada Sur-Este es la que reúne el mayor número de puertos de interés general<sup>8</sup>, entre los que se encuentran las principales terminales de contenedores. Asimismo, se trata del conjunto de puertos que mayores volúmenes de tráfico soportan a nivel nacional. En este sentido, en tan sólo seis puertos de esta fachada (Bahía de Algeciras, Barcelona, Cartagena, Huelva, Tarragona y Valencia) se concentró el 56,38% del tráfico total del ejercicio 2008.

Tabla 4.7. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras Fachada Sur-Este. Escenario SIN ACTUACIONES

Tipo	Año 2008				2009-201	3	2014-2020		
tráfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción
GL	101.148	219.913	46%	103.402	219.913	47%	114.157	219.913	52%
GS	50.378	121.464	41%	46.991	121.464	39%	57.106	121.464	47%
MG	124.926	196.408	64%	138.108	196.408	70%	163.192	196.408	83%
Total	276.452	537.785	51%	288.501	537.785	54%	334-455	537.785	62%

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

En cuanto a los datos reflejados en la *Tabla* 4.7, podemos afirmar que un escenario SIN ACTUACIONES llevaría a unos niveles de ocupación de los puertos de esta fachada del 51% (2008) al 62% a largo plazo (2014-2010). Este hecho aún resulta más alarmante si observamos las cifras previstas para la mercancía general; en la que se pasa de un nivel de ocupación del 64% (2008) al 70% a medio plazo y al 83% a más largo plazo. Estos datos sitúan a los puertos de la fachada Sur-Este muy cerca del umbral de saturación.

La fachada No Peninsular comprende únicamente cinco AAPP y soporta unos niveles de tráfico muy minoritarios con referencia al SPE en conjunto<sup>9</sup>. Asimismo, el crecimiento histórico de los

<sup>(8)</sup> Ver Tabla 1.2.

<sup>(9)</sup> En el año 2008, tan sólo el 12,98% del tráfico total del SPE fue resultado de la actividad de lo puertos no peninsulares.

tráficos soportados por estos puertos ha estado por debajo de los niveles de la mayoría de puertos peninsulares, lo que justifica que las previsiones recogidas en el PEIT en cuanto a la evolución futura de sus tráficos sean más moderadas que en el resto de fachadas (ver *Tabla 4.4*).

En consecuencia, el nivel de ocupación de los puertos nacionales ubicados fuera de la península no sufre grandes cambios si admitimos que las AAPP correspondientes no van a efectuar actuaciones encaminadas al incremento de las infraestructuras portuarias en los próximos años. Tal y como se observa en la *Tabla* 4.8, el nivel de ocupación de estos puertos es del 50% en el 2008 y llegaría al 57% a largo plazo.

Tabla 4.8. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras Fachada No Peninsular. Escenario SIN ACTUACIONES

Tipo	Año 2008				2009-201	3	2014-2020		
tráfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción
GL	17.401	26.287	66%	16.046	26.287	61%	17.393	26.287	66%
GS	4.746	13.575	35%	3.660	13.575	27%	4.275	13.575	31%
MG	19.654	42.983	46%	21.530	42.983	50%	25.517	42.983	59%
Total	41.801	82.845	50%	41.236	82.845	50%	47.185	82.845	57%

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

En definitiva, aceptar un escenario SIN ACTUACIONES por parte de las AAPP españolas no tendría demasiada trascendencia entre los puertos no peninsulares del SPE. Tampoco tendría importantes cambios a medio plazo en los puertos de la fachada Norte-Noroeste, pero si las AAPP correspondientes a la franja norte peninsular no invirtieran en nuevas infraestructuras, a largo plazo el nivel de ocupación aumentaría y los puertos se verían resentidos.

En cambio, en los puertos de la vertiente sur-este la asunción de la falta de actuaciones por parte de las AAPP llevaría a un nivel de ocupación muy elevado, cerca del umbral de

saturación, sobre todo en aquellos puertos con claro predominio de tráfico de contenedores (principal componente de la mercancía general). Esto provocaría, seguramente, deficiencias y pérdidas en la calidad de los servicios portuarios prestados por dichos puertos, que repercutirían finalmente en la reducción de la demanda de los mismos.

Si las perspectivas económicas mejorasen, sería posible abordar una serie de actuaciones en las diferentes fachadas que permitiesen mejorar al grado de ocupación de las diferentes terminales. Esta es la hipótesis que ha llevado Puertos del Estado a diseñar un escenario alternativo, al que hemos denominado "CON ACTUACIONES", en el que se prevén un conjunto de inversiones en los diferentes puertos nacionales que se concretan bien en ampliaciones de las terminales existentes, bien en la creación de nuevas terminales, tal y como se detalla en la *Tabla* 4.9.

Tabla 4.9. Categorías de terminales planificadas

2009-		Fachadas		Tatal
2013	NORTE/ NOROESTE	SUR/ESTE	NO PENINSULAR	Total
	2 terminales GL-1	3 terminales GL-2	1 terminal CONT-1	2 terminales GL-1
	2 terminales GS-2	1 terminal GS-2		3 terminales GL-2
	1 terminal GS-3	2 terminales GS-3		3 terminales GS-2
	1 terminal GS-5	1 terminal MG-1		3 terminales GS-3
	1 terminal PL-2	1 terminal PL-2		1 terminal GS-5
Nuevas	1 terminal CONT-1	2 terminales CONT-2		1 terminal MG-1
terminales	2 terminales VEH-2	2 terminales CONT-3		2 terminales PL-2
		1 terminal HUB-2		2 terminal CONT-1
				2 terminales CONT-2
				2 terminales CONT-3
				1 terminal HUB-2
				2 terminales VEH-2
Ampliaciones	2 paso de MG-1 a MG-2			2 paso de MG-1 a MG-2

2009-		Fachadas		Total
2013	NORTE/ NOROESTE	SUR/ESTE	NO PENINSULAR	rocar
	1 terminal GNL-1	1 terminal GL-2	1 terminal GNL-1	1 terminal GL-2
	1 terminal GS-1	3 terminales GS-1	1 terminal GS-1	2 terminales GL-1
	1 terminal MG-1	2 terminales GS-2	1 terminal GS-2	5 terminales GS-1
	1 terminal MG-2	1 terminal MG-1	1 terminal PL-1	3 terminales GS-2
	1 terminal PL-1	1 terminal MG-2	1 terminal CONT-2	2 terminales MG-1
	2 terminales PL-2	1 terminal CONT-1	1 terminal HUB-1	2 terminales MG-2
Nuevas terminales	1 terminal PL-3	3 terminales CONT-2		2 terminales PL-1
cerrimates		2 terminales CONT-3		2 terminales PL-2
		1 terminal HUB-1		1 terminal PL-3
				1 terminal CONT-1
				4 terminales CONT-2
				2 terminales CONT-3
				2 terminales HUB-1

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

Con las actuaciones previstas, las mejoras en los parámetros físicos de las diferentes fachadas, tanto para el primer período (2009-2013) como para el segundo (2014-2020) serian las que se recogen en la *Tabla* 4.10.

Tabla 4.10. Parámetros físicos de las obras planificadas

Provisiones 2000 2012		- Total		
Previsiones 2009-2013	Norte/ Noroeste	Sur/Este	No Peninsular	TOLAI
Metros lineales de muelle	5.353	11.328	800	17.481
Hectáreas de superficie terrestre	160	259	15	434
Hectáreas de agua abrigada	371	297	37	705

Provisiones por Capa		- Total		
Previsiones 2014-2020	Norte/ Noroeste	Sur/Este	No Peninsular	TOLAT
Metros lineales de muelle	6.953	9.275	4.020	20.248
Hectáreas de superficie terrestre	301	293	107	701
Hectáreas de agua abrigada	0	86	100	186

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

Introduciendo las mejoras señaladas, las nuevas previsiones sobre la capacidad y el nivel de ocupación del SPE en total serían las que se recogen en la *Tabla* 4.11. Tal y como se observa en dicha tabla, un escenario "CON ACTUACIONES" parte de una mejora en los tráficos que va acompañada de una adecuación en la capacidad de los puertos, en general. En definitiva, no sólo se mantienen las relaciones entre los tráficos y la capacidad de los puertos en su conjunto, sino que permite mejorarlas (se estima un nivel de ocupación del 47% a largo plazo frente a una ocupación del 50% en el 2008).

De nuevo detallamos las previsiones de la evolución del tráfico, la capacidad de las terminales y su grado de ocupación en un escenario "CON ACTUACIONES" para las fachadas marítimas analizadas: Norte-Noroeste (*Tabla 4.12*), Sur-Este (*Tabla 4.13*) y No Peninsular (*Tabla 4.14*).

Tabla 4.11. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras Sistema Portuario de Titularidad Estatal. Escenario CON ACTUACIONES

Tipo		Año 2008	3		2009-201	3	2014-2020			
tráfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	
GL	153.974	317.146	49%	157.867	326.208	48%	174.400	338.376	52%	
GS	101.338	223.961	45%	97.103	268.406	36%	117.650	281.654	42%	
MG	165.259	297.861	55%	183.756	383.585	48%	219.303	462.654	47%	
TOTAL	420.571	838.968	50%	438.726	978.199	45%	511.353	1.082.684	47%	

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

Tabla 4.12. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras Fachada Norte-Noroeste. Escenario CON ACTUACIONES

Tipo		Año 2008	3		2009-201	3	2014-2020			
tråfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	
GL	35.425	70.946	50%	38.419	72.195	53%	42.850	77.084	56%	
GS	46.214	88.922	52%	46.452	119.765	39%	56.269	125.210	45%	
MG	20.679	58.470	35%	24.118	60.766	40%	30.594	67.141	46%	
TOTAL	102.318	218.338	47%	108.989	252.726	43%	129.713	269.435	48%	

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

Tabla 4.13. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras Fachada Sur-Este. Escenario CON ACTUACIONES

Tipo		Año 2008	3		2009-201	3	2014-2020			
tråfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	
GL	101.148	219.913	46%	103.402	227.727	45%	114.157	230.298	50%	
GS	50.378	121.464	41%	46.991	135.067	35%	57.106	140.263	41%	
MG	124.926	196.408	64%	138.108	278.009	50%	163.192	336.854	48%	
TOTAL	276.452	537.785	51%	288.501	640.803	45%	334-455	707.415	47%	

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

Tabla 4.14. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras Fachada No Peninsular. Escenario CON ACTUACIONES

Tipo		Año 2008	3		2009-201	3	2014-2020			
tráfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupa- ción	
GL	17.401	26.287	66%	16.046	26.287	61%	17.393	30.995	56%	
GS	4.746	13.575	35%	3.660	13.575	27%	4.275	16.182	26%	
MG	19.654	42.983	46%	21.530	44.810	48%	25.517	58.661	43%	
TOTAL	41.801	82.845	50%	41.236	84.672	49%	47.185	105.838	45%	

Fuente: PEIT de Puertos del Estado

El análisis de las tablas anteriores nos permite concluir que, en términos generales, el nivel de ocupación mejora en todas las fachadas, situándose por debajo del 50% tanto en las previsiones a medio (período 2009-2013) como a largo plazo (período 2014-2020). Este hecho repercutirá, probablemente, en una mejora en la calidad de los servicios prestados que, en definitiva, permitirá unos puertos más competitivos.

Dentro de este marco, cabe destacar la mejora prevista para el tráfico de mercancía general en la fachada Sur-Este. Como ya indicamos anteriormente, la fachada Sur-Este es la que comprende al mayor número de puertos pertenecientes al SPE y entre ellos se encuentran las principales terminales de contenedores. Si a este dato añadimos las trece nuevas terminales destinadas al tráfico de mercancía general previstas a medio y largo plazo (ver *Tabla* 4.9) conseguimos que el nivel de ocupación de los puertos de la fachada oriental de la península (en dicho tráfico) mejore considerablemente, pasando de ser del 64% en el 2008 al 48% anual por término medio en el período 2014-2020 (*Tabla* 4.13).

Una mejora similar es la experimentada por los puertos no peninsulares en el tráfico de graneles líquidos. En concreto, si admitimos que las AAPP correspondientes efectúan las actuaciones previstas para el incremento de sus infraestructuras portuarias, pasarían de un nivel de ocupación del 66% en el 2008 a un porcentaje de ocupación del 56%, en el tráfico de graneles líquidos (ver *Tabla 4*.14).

Por tanto, si aconteciera un escenario CON ACTUACIONES tal y como prevé el Organismo Público Puertos del Estado, en el PEIT, la mayoría de las AAPP españolas asumirían incrementos en sus tráficos acompañados de mayores capacidades. Esto no sólo permitiría mantener el nivel de ocupación actual de los puertos, sino que ocasionaría mejoras en el mismo, evitando la saturación de los puertos y permitiendo una mayor calidad de los servicios portuarios prestados.

No queremos finalizar el capítulo sin llamar la atención al hecho de que ambos escenarios previstos por PE parten de unas previsiones en cuanto a tráficos bastantes optimistas según los últimos datos disponibles sobre la evolución del tráfico portuario y la incidencia de la actual crisis económica en éste.

Si estas previsiones fueran erróneas, las conclusiones señaladas ya no serían válidas. Así, si suponemos, por ejemplo, un estancamiento en el crecimiento de la actividad portuaria (es decir, que los tráficos no van a incrementar en los próximos años sino que se van

a mantener en los niveles del 2008) pero se deciden llevar a término las actuaciones previstas (escenario CON ACTUACIONES), obtendríamos las cifras de los niveles de ocupación detallados en la *Tabla* 4.15 para el conjunto del SPE. En ésta puede observarse cómo el nivel de ocupación desciende tanto a medio como a largo plazo llegando a ser del 38,85% anual por término medio en el período 2014-2020. Este sobredimensionamiento de los puertos se hace aún más evidente en las terminales especializadas en el tráfico de mercancía general (mayoritariamente en contenedores), donde el nivel de ocupación pasa a ser del 35,72% en el período señalado.

En definitiva, en este nuevo contexto (estancamiento en el tráfico), llevar a término nuevas inversiones en infraestructuras (escenario CON ACTUACIONES) se traduciría en un claro exceso de la capacidad instalada en los puertos, especialmente en las terminales con claro predominio de la mercancía general.

Tabla 4.15. Previsión de la capacidad y grado de utilización de las infraestructuras CON ESTANCAMIENTO EN LOS TRÁFICOS. Escenario CON ACTUACIONES Sistema Portuario de Titularidad Estatal

				Con actuaciones							
Tipo		Año 2008	3		2009-201	3		2014-2020			
tráfico	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupación	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupación	Tráfico (miles Tn)	Capacidad (miles Tn)	% Ocupación		
GL	153.974	317.146	48,55%	153.974	326.208	47,20 %	153.974	338.376	45,50 %		
GS	101.338	223.961	45,25%	101.338	268.406	37,76 %	101.338	281.654	35,98 %		
MG	165.259	297.861	55,48 %	165.259	383.585	43,08%	165.259	462.654	35,72 %		
TOTAL	420.571	838.968	50,13 %	420.571	978.199	42,99%	420.571	1.082.684	38,85%		

Fuente: elaboración propia a partir de datos del PEIT de Puertos del Estado

#### 4.3. Ranking previsto de los puertos pertenecientes al SPE

Conocidas las previsiones de los inputs (inmovilizado neto) y outputs (tráficos portuarios) empleados en nuestro análisis, estamos en disposición de analizar la eficiencia previsible de los puertos españoles a través de la aplicación de la metodología DEA empleada en los capítulos precedentes. Con ello pretendemos dar respuesta a cuestiones cómo si se prevén modificaciones importantes en el nivel de eficiencia de los puertos españoles, cuál será previsiblemente el ranking entre las AAPP nacionales en función de su nivel de eficiencia, o si existe algún puerto que probablemente ostente el liderazgo en el SPE en base a las perspectivas futuras sobre su eficiencia.

Para poder dar respuesta a estas cuestiones es necesario desglosar las cifras dadas por fachadas en variables correspondientes a cada uno de los puertos que la integran. Esta descomposición es posible pero debemos asumir constancia de las tasas de crecimiento del tráfico para todos los puertos de una misma fachada.

Aunque ésta es una hipótesis poco realista nos vemos obligados a asumirla ya que un conocimiento general de los puertos no nos permite hacer distinciones entre las previsiones de tráfico para cada uno de ellos. A pesar de este obstáculo, en el siguiente epígrafe presentaremos un análisis más pormenorizado para el grupo 3 de puertos (los más relevantes en cuanto a tráfico e infraestructuras).

Para establecer el grado de mejora y el ranking de los diferentes puertos vamos a aplicar el modelo DEA de análisis de eficiencia con tolerancias visto en el Capitulo 3. Como posibles tolerancias o variaciones en los outputs empleados en el análisis vamos a emplear las tasas de crecimiento de los tráficos previstos en el PEIT. Respecto al input, hemos decidido que un escenario SIN ACTUACIONES es el más realista conforme a la situación actual de la economía y el nivel de ocupación actual de los puertos españoles. Por tanto, al suponer que no van a realizarse nuevas inversiones en el SPE el nivel de tolerancia imputable al input es nulo.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del análisis descrito a la totalidad de puertos pertenecientes al SPE están recogidos en la *Tabla* 4.16, en la que pueden observarse las previsiones a medio (en base al año 2013) y largo plazo (ejercicio 2020) los scores que determinan el nivel de eficiencia de las 28 AAPP existentes. Junto a la columna de los scores,

(10) Estos ratios están definidos en el capítulo 3, a partir de las ecuaciones [3.12] y [3.13].

la tabla muestra los valores obtenidos al calcular los ratios  $R^1$  y  $R^2$ , definidos  $^{10}$  y aplicados en el capítulo 3 como los instrumentos más adecuados para establecer el ranking de las unidades analizadas a partir del cálculo de sus *scor*es de eficiencia.

Tabla 4.16. Previsión de scores de eficiencia y ranking para las 28 AAPP (2013 y 2020)

	20	13			2020					
Orden	AAPP	Score	R¹	R²	Orden	AAPP	Score	R¹	R²	
1	B. Algeciras	1	1		1	B. Algeciras	1	1		
1	Cartagena	1	1		1	Cartagena	1	1		
1	Ferrol- San Cibrao	1	1		1	Ferrol- San Cibrao	1	1		
4	Tarragona	0,915	0	0,904	4	Tarragona	0,915	0	0,779	
5	Almería	0,742	0	0,744	5	Castellón	0,705	0	0,674	
6	Castellón	0,705	0	0,707	6	Valencia	0,635	0	0,629	
7	Pasajes	0,660	0	0,661	7	Huelva	0,577	0	0,552	
8	Valencia	0,635	0	0,636	8	Bilbao	0,496	0	0,543	
9	Avilés	0,597	0	0,598	9	Almería	0,742	0	0,491	
10	Huelva	0,577	0	0,578	10	Pasajes	0,660	0	0,480	
11	Bilbao	0,496	0	0,496	11	Baleares	0,484	0	0,473	
12	Baleares	0,484	0	0,485	12	A Coruña	0,389	0	0,420	
13	Gijón	0,432	0	0,433	13	Avilés	0,597	0	0,377	
14	A Coruña	0,389	0	0,390	14	S. C. Tenerife	0,364	0	0,368	
15	Málaga	0,368	0	0,368	15	Málaga	0,368	0	0,354	
16	Marín y R. Pontevedra	0,367	0	0,368	16	Las Palmas	0,351	0	0,351	
17	Motril	0,367	0	0,368	17	Motril	0,367	0	0,350	
18	S. C. Tenerife	0,364	0	0,364	18	Barcelona	0,324	0	0,321	
19	Las Palmas	0,351	0	0,352	19	Vigo	0,291	0	0,315	
20	Barcelona	0,324	0	0,324	20	Santander	0,298	0	0,287	

	20	13			2020				
Orden	AAPP	Score	R¹	R <sup>2</sup>	Orden	AAPP	Score	R¹	R <sup>2</sup>
21	Bahía de Cádiz	0,302	0	0,303	21	Bahía de Cádiz	0,302	0	0,285
22	Santander	0,298	0	0,299	22	Marín y R. Pontevedra	0,367	0	0,263
23	Vigo	0,291	0	0,292	23	Vilagarcía	0,248	0	0,252
24	Vilagarcía	0,248	0	0,249	24	Gijón	0,432	0	0,243
25	Ceuta	0,218	0	0,218	25	Ceuta	0,218	0	0,218
26	Alicante	0,214	0	0,215	26	Alicante	0,214	0	0,203
27	Sevilla	0,185	0	0,185	27	Sevilla	0,185	0	0,173
28	Melilla	0,073	0	0,073	28	Melilla	0,073	0	0,073

Como puede observarse en la *Tabla* 4.16, las previsiones en cuanto a eficiencia de los puertos del SPE no son idénticas para los años 2013 y 2020 pero no presentan grandes diferencias al menos en los primeros puestos del ranking. Encabezando la clasificación, para los dos períodos analizados, encontramos las AAPP de Bahía de Algeciras, Cartagena y Ferrol-San Cibrao como las más eficientes del sistema.

De nuevo, el hecho de que el puerto de la Bahía de Algeciras quede valorado como el más eficiente del SPE (junto con Cartagena y Tarragona) nos revela una vez más el carácter de influyente de este puerto en el SPE. Por ello, hemos analizado de nuevo las perspectivas de la eficiencia portuaria a medio y largo plazo excluyendo a la Autoridad Portuaria de Bahía de Algeciras de la muestra. Los resultados de este análisis son mostrados en la *Tabla* 4.17, en la que se representa la nueva previsión del ranking u ordenación jerárquica de los puertos nacionales al excluir Bahía de Algeciras. Junto al ranking previsto, la *Tabla* 4.17 muestra los nuevos scores indicativos del nivel de eficiencia de los puertos analizados, y los valores de los ratios R¹ y R² empleados para la jerarquización de los puertos.

Tabla 4.17. Previsión de scores de eficiencia y ranking SIN B. ALGECIRAS (2013 y 2020)

5         Pasajes         0,826         0         0,828         5         Castellón         0,772         0         0,746           6         Castellón         0,772         0         0,773         6         Baleares         0,736         0         0,73           7         Almería         0,761         0         0,763         7         Bilbao         0,644         0         0,659           8         Baleares         0,736         0         0,737         8         Pasajes         0,826         0         0,662           9         Avilés         0,665         0         0,666         9         Las Palmas         0,621         0         0,622           10         Bilbao         0,644         0         0,645         10         Barcelona         0,567         0         0,652           11         Las Palmas         0,621         0         0,622         11         Huelva         0,577         0         0,558           12         Huelva         0,577         0         0,558         12         S. C. Tenerife         0,543         0         0,543           14         S. C. Tenerife         0,543         0         0,543		20	13			2020					
1         Ferrol-S. Cibrao         1         1         1         Ferrol-S. Cibrao         1         1           1         Valencia         1         1         1         Valencia         1         1           4         Tarragona         0,916         0         0,996         4         Tarragona         0,916         0         0,78           5         Pasajes         0,826         0         0,828         5         Castellón         0,772         0         0,74           6         Castellón         0,772         0         0,773         6         Baleares         0,736         0         0,73           7         Almería         0,761         0         0,763         7         Bilbao         0,644         0         0,665           9         Avilés         0,665         0         0,666         9         Las Palmas         0,621         0         0,622           10         Bilbao         0,644         0         0,645         10         Barcelona         0,567         0         0,558           12         Huelva         0,577         0         0,578         12         S.C. Tenerife         0,543         0         0,5	Orden	AAPP	Score	R¹	R <sup>2</sup>	Orden	AAPP	Score	R¹	R²	
1         Cibrao         1         1         Ferrol-S. Cibrao         1         1           1         Valencia         1         1         1         Valencia         1         1           4         Tarragona         0,916         0         0,906         4         Tarragona         0,916         0         0,78           5         Pasajes         0,826         0         0,828         5         Castellón         0,772         0         0,74           6         Castellón         0,772         0         0,773         6         Baleares         0,736         0         0,737           7         Almería         0,761         0         0,763         7         Bilbao         0,644         0         0,669           8         Baleares         0,736         0         0,737         8         Pasajes         0,826         0         0,669           9         Avilés         0,665         0         0,666         9         Las Palmas         0,621         0         0,622           10         Bilbao         0,644         0         0,645         10         Barcelona         0,567         0         0,578	1	Cartagena	1	1		1	Cartagena	1	1		
4 Tarragona 0,916 0 0,906 4 Tarragona 0,916 0 0,78 5 Pasajes 0,826 0 0,828 5 Castellón 0,772 0 0,74 6 Castellón 0,772 0 0,773 6 Baleares 0,736 0 0,73 7 Almería 0,761 0 0,763 7 Bilbao 0,644 0 0,66 8 Baleares 0,736 0 0,737 8 Pasajes 0,826 0 0,66 9 Avilés 0,665 0 0,666 9 Las Palmas 0,621 0 0,62 10 Bilbao 0,644 0 0,645 10 Barcelona 0,567 0 0,56 11 Las Palmas 0,621 0 0,622 11 Huelva 0,577 0 0,55 12 Huelva 0,577 0 0,578 12 S. C. Tenerife 0,543 0 0,54 13 Barcelona 0,567 0 0,568 13 Almería 0,761 0 0,52 14 S. C. Tenerife 0,543 0 0,543 14 Málaga 0,515 0 0,50 15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,45 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Marín y R. Pontevedra 0,432 0 0,434 18 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,37 19 A Coruña 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,36 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366	1		1	1		1	Ferrol-S. Cibrao	1	1		
5         Pasajes         0,826         0         0,828         5         Castellón         0,772         0         0,746           6         Castellón         0,772         0         0,773         6         Baleares         0,736         0         0,73           7         Almería         0,761         0         0,763         7         Bilbao         0,644         0         0,659           8         Baleares         0,736         0         0,737         8         Pasajes         0,826         0         0,662           9         Avilés         0,665         0         0,666         9         Las Palmas         0,621         0         0,622           10         Bilbao         0,644         0         0,645         10         Barcelona         0,567         0         0,652           11         Las Palmas         0,621         0         0,622         11         Huelva         0,577         0         0,558           12         Huelva         0,577         0         0,558         12         S. C. Tenerife         0,543         0         0,543           14         S. C. Tenerife         0,543         0         0,543	1	Valencia	1	1		1	Valencia	1	1		
6 Castellón 0,772 0 0,773 6 Baleares 0,736 0 0,737 7 Almería 0,761 0 0,763 7 Bilbao 0,644 0 0,665 8 Baleares 0,736 0 0,737 8 Pasajes 0,826 0 0,662 9 Avilés 0,665 0 0,666 9 Las Palmas 0,621 0 0,62 10 Bilbao 0,644 0 0,645 10 Barcelona 0,567 0 0,56 11 Las Palmas 0,621 0 0,622 11 Huelva 0,577 0 0,55 12 Huelva 0,577 0 0,578 12 S. C. Tenerife 0,543 0 0,544 13 Barcelona 0,567 0 0,568 13 Almería 0,761 0 0,52 14 S. C. Tenerife 0,543 0 0,543 14 Málaga 0,515 0 0,50 15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,45 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,36 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366	4	Tarragona	0,916	0	0,906	4	Tarragona	0,916	0	0,788	
7 Almería 0,761 0 0,763 7 Bilbao 0,644 0 0,669 8 Baleares 0,736 0 0,737 8 Pasajes 0,826 0 0,669 9 Avilés 0,665 0 0,666 9 Las Palmas 0,621 0 0,621 10 Bilbao 0,644 0 0,645 10 Barcelona 0,567 0 0,566 11 Las Palmas 0,621 0 0,622 11 Huelva 0,577 0 0,557 12 Huelva 0,577 0 0,5578 12 S. C. Tenerife 0,543 0 0,544 13 Barcelona 0,567 0 0,568 13 Almería 0,761 0 0,52 14 S. C. Tenerife 0,543 0 0,543 14 Málaga 0,515 0 0,506 15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,457 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,396 20 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,376 19 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,376 20 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0 0,366 20 Marín y	5	Pasajes	0,826	0	0,828	5	Castellón	0,772	0	0,746	
8 Baleares 0,736 0 0,737 8 Pasajes 0,826 0 0,666 9 Avilés 0,665 0 0,666 9 Las Palmas 0,621 0 0,621 10 Bilbao 0,644 0 0,645 10 Barcelona 0,567 0 0,566 11 Las Palmas 0,621 0 0,622 11 Huelva 0,577 0 0,555 12 Huelva 0,577 0 0,578 12 S. C. Tenerife 0,543 0 0,544 13 Barcelona 0,567 0 0,568 13 Almería 0,761 0 0,52 14 S. C. Tenerife 0,543 0 0,543 14 Málaga 0,515 0 0,506 15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,457 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Pontevedra 0,454 0 0,455 17 A Coruña 0,429 0 0,466 18 Gijón 0,432 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366	6	Castellón	0,772	0	0,773	6	Baleares	0,736	0	0,736	
9 Avilés 0,665 0 0,666 9 Las Palmas 0,621 0 0,62 10 Bilbao 0,644 0 0,645 10 Barcelona 0,567 0 0,56 11 Las Palmas 0,621 0 0,622 11 Huelva 0,577 0 0,55 12 Huelva 0,577 0 0,578 12 S. C. Tenerife 0,543 0 0,54 13 Barcelona 0,567 0 0,568 13 Almería 0,761 0 0,52 14 S. C. Tenerife 0,543 0 0,543 14 Málaga 0,515 0 0,50 15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,45 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,455 17 A Coruña 0,429 0 0,46 18 Gijón 0,432 0 0,434 18 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,37 19 A Coruña 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,36 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366	7	Almería	0,761	0	0,763	7	Bilbao	0,644	0	0,692	
10 Bilbao 0,644 0 0,645 10 Barcelona 0,567 0 0,566 11 Las Palmas 0,621 0 0,622 11 Huelva 0,577 0 0,55 12 Huelva 0,577 0 0,568 12 S. C. Tenerife 0,543 0 0,54 13 Barcelona 0,567 0 0,568 13 Almería 0,761 0 0,52 14 S. C. Tenerife 0,543 0 0,543 14 Málaga 0,515 0 0,50 15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,45 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,455 17 A Coruña 0,429 0 0,466 18 Gijón 0,432 0 0,434 18 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0 0,366 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0 0,366 20 Marín y R. Ponte	8	Baleares	0,736	0	0,737	8	Pasajes	0,826	0	0,666	
11         Las Palmas         0,621         0         0,622         11         Huelva         0,577         0         0,55           12         Huelva         0,577         0         0,578         12         S. C. Tenerife         0,543         0         0,54           13         Barcelona         0,567         0         0,568         13         Almería         0,761         0         0,52           14         S. C. Tenerife         0,543         0         0,543         14         Málaga         0,515         0         0,50           15         Málaga         0,515         0         0,515         15         Vigo         0,457         0         0,45           16         Vigo         0,457         0         0,458         16         Avilés         0,665         0         0,47           17         Marín y R. Pontevedra         0,454         0         0,455         17         A Coruña         0,429         0         0,37           19         A Coruña         0,429         0         0,430         19         Motril         0,382         0         0,36           20         Bahía de Cádiz         0,389         0         0,	9	Avilés	0,665	0	0,666	9	Las Palmas	0,621	0	0,622	
12 Huelva 0,577 0 0,578 12 S. C. Tenerife 0,543 0 0,544 13 Barcelona 0,567 0 0,568 13 Almería 0,761 0 0,52 14 S. C. Tenerife 0,543 0 0,543 14 Málaga 0,515 0 0,50 15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,45 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,455 17 A Coruña 0,429 0 0,46 18 Gijón 0,432 0 0,434 18 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,37 19 A Coruña 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,36 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,36 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,36 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0	10	Bilbao	0,644	0	0,645	10	Barcelona	0,567	0	0,567	
13 Barcelona 0,567 0 0,568 13 Almería 0,761 0 0,522 14 S. C. Tenerife 0,543 0 0,543 14 Málaga 0,515 0 0,502 15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,457 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,455 17 A Coruña 0,429 0 0,46 18 Gijón 0,432 0 0,434 18 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,37 19 A Coruña 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366	11	Las Palmas	0,621	0	0,622	11	Huelva	0,577	0	0,552	
14       S. C. Tenerife       0,543       0       0,543       14       Málaga       0,515       0       0,50         15       Málaga       0,515       0       0,515       15       Vigo       0,457       0       0,45         16       Vigo       0,457       0       0,458       16       Avilés       0,665       0       0,47         17       Marín y R. Pontevedra       0,454       0       0,455       17       A Coruña       0,429       0       0,434       18       Bahía de Cádiz       0,389       0       0,37         19       A Coruña       0,429       0       0,430       19       Motril       0,382       0       0,36         20       Bahía de Cádiz       0,389       0       0,390       20       Marín y R. Pontevedra       0,454       0       0,36	12	Huelva	0,577	0	0,578	12	S. C. Tenerife	0,543	0	0,543	
15 Málaga 0,515 0 0,515 15 Vigo 0,457 0 0,457 16 Vigo 0,457 0 0,457 16 Vigo 0,457 0 0,458 16 Avilés 0,665 0 0,47 17 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,455 17 A Coruña 0,429 0 0,466 18 Gijón 0,432 0 0,434 18 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,37 19 A Coruña 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366	13	Barcelona	0,567	0	0,568	13	Almería	0,761	0	0,521	
16       Vigo       0,457       0       0,458       16       Avilés       0,665       0       0,47         17       Marín y R. Pontevedra       0,454       0       0,455       17       A Coruña       0,429       0       0,46         18       Gijón       0,432       0       0,434       18       Bahía de Cádiz       0,389       0       0,37         19       A Coruña       0,429       0       0,430       19       Motril       0,382       0       0,36         20       Bahía de Cádiz       0,389       0       0,390       20       Marín y R. Pontevedra       0,454       0       0,36	14	S. C. Tenerife	0,543	0	0,543	14	Málaga	0,515	0	0,504	
17 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,455 17 A Coruña 0,429 0 0,466 18 Gijón 0,432 0 0,434 18 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,37 19 A Coruña 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366	15	Málaga	0,515	0	0,515	15	Vigo	0,457	0	0,490	
17 Pontevedra 0,454 0 0,455 17 A Coruna 0,429 0 0,466 18 Gijón 0,432 0 0,434 18 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,37 19 A Coruña 0,429 0 0,430 19 Motril 0,382 0 0,366 20 Bahía de Cádiz 0,389 0 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 0 0,366	16	Vigo	0,457	0	0,458	16	Avilés	0,665	0	0,476	
19 A Coruña 0,429 o 0,430 19 Motril 0,382 o 0,360 20 Bahía de Cádiz 0,389 o 0,390 20 Marín y R. Pontevedra 0,454 o 0,360	17	,	0,454	0	0,455	17	A Coruña	0,429	0	0,463	
20 Bahía de Cádiz 0,389 o 0,390 20 Marín y R. Pon- tevedra 0,454 o 0,36	18	Gijón	0,432	0	0,434	18	Bahía de Cádiz	0,389	0	0,374	
20 Barria de Cadiz 0,369 0 0,390 20 tevedra 0,454 0 0,36	19	A Coruña	0,429	0	0,430	19	Motril	0,382	0	0,367	
	20	Bahía de Cádiz	0,389	0	0,390	20		0,454	0	0,361	
21 Motril 0,382 0 0,383 21 Ceuta 0,349 0 0,34	21	Motril	0,382	0	0,383	21	Ceuta	0,349	0	0,349	
22 Ceuta 0,349 0 0,350 22 Vilagarcía 0,299 0 0,30	22	Ceuta	0,349	0	0,350	22	Vilagarcía	0,299	0	0,307	
23 Santander 0,329 0 0,330 23 Alicante 0,282 0 0,27	23	Santander	0,329	0	0,330	23	Alicante	0,282	0	0,272	
24 Vilagarcía 0,299 o 0,299 24 Gijón 0,432 o 0,25	24	Vilagarcía	0,299	0	0,299	24	Gijón	0,432	0	0,251	

		2013					2020		
Orden	AAPP	Score	R¹	R²	Orden	AAPP	Score	R¹	R²
25	Alicante	0,282	0	0,282	25	Santander	0,329	0	0,227
26	Sevilla	0,227	0	0,227	26	Sevilla	0,227	0	0,215
27	Melilla	0,124	0	0,124	27	Melilla	0,124	0	0,124

De los datos expuestos en la *Tabla* 4.17 podemos concluir una vez más que aunque las previsiones de la eficiencia portuaria varían entre los años 2013 y 2020, sus diferencias no son significativas en términos generales. El principal cambio observado en el análisis, tras excluir al puerto de Bahía de Algeciras de la muestra, lo ostenta la Autoridad Portuaria de Valencia que, junto con los puertos de Cartagena y Ferrol-San Cibrao, pasa a ser una de las unidades previsiblemente más eficientes del sistema. Esta misma conclusión había sido obtenida en los capítulos anteriores, a partir de los análisis practicados en base a datos históricos. Por ello, parece que el futuro no nos va a deparar muchas sorpresas, sino que la eficiencia de los puertos que integran el SPE va a ser coherente con los resultados previamente obtenidos.

### 4.4. Análisis detallado del Grupo 3

Como hemos señalado anteriormente, un análisis global puede quedar desvirtuado por la uniformidad que hay que suponer a todos los puertos. Por ello, siguiendo la estructura de los capítulos precedentes, hemos considerado congruente establecer un análisis pormenorizado del grupo principal de puertos o grupo 3 según la clasificación establecida por el análisis *cluster* en el primer capítulo.

A partir de los datos del tráfico real de los años 2005 a 2008, hemos calculado las variaciones interanuales en los mismos, diferenciando el tipo de tráfico (graneles líquidos, graneles sólidos o mercancía general), tal y como se muestra en la *Tabla* 4.18.

Tabla 4.18. Variaciones interanuales del tráfico (2005-2008)

AAPP	Variaciones GL			Variaciones GS			Variaciones MG		
	2006/05			2006/05	2007/06		2006/05		2008/07
B. Algeciras	-5,52 %	-3,33 %	4,62 %	2,11%	-1,03%	-40,60%	9,85%	8,86 %	0,57%
Baleares	6,79 %	1,71 %	-5,98%	-5,61%	5,80 %	-7,95%	14,52 %	-0,44 %	-8,85%
Barcelona	-15,92 %	4,31%	10,15%	1,38 %	-5,79 %	-9,41%	16,54%	10,78 %	-0,71%
Las Palmas	0,86%	-3,31 %	1,39 %	-5,30 %	-3,75 %	-28,28%	6,20%	5,87%	-2,06%
Melilla	0,00%	-8,11%	4,41%	-45,24%	13,04 %	-34 <b>,</b> 62 %	7,31%	-1,01%	-6,15%
Valencia	215,65%	27,25%	7,67 %	12,37%	2,45%	-29,85%	8,03%	12,88%	19,40 %
Vigo	36,92 %	-7,87%	-29,27%	1,30 %	-9,97%	-27,53 %	12,53%	9,71 %	-4,94%

Tomando dichas variaciones anuales como punto de partida, hemos calculado el crecimiento real de los tres tipos de tráficos en el período 2008-05. Junto a estas variaciones, basadas en datos reales, en la *Tabla* 4.19 hemos representado las variaciones previstas en los tráficos según la información detallada en el PEIT. Estas previsiones han sido extraídas de las referencias recogidas en la *Tabla* 4.4, teniendo en cuenta la fachada a la que pertenece cada uno de los puertos del grupo analizado.

Tabla 4.19. Variaciones anuales del tráfico (2005-2008, 2013-2009, 2020-2014)

AAPP	Variaciones reales 2008/05			Variaciones previstas 2013/09			Variaciones previstas 2020/14		
	GL	GS	MG	GL	GS	MG	GL	GS	MG
B. Algeciras	-4,44%	-39,97%	20,25%	4,69 %	5,22 %	3,52 %	2,14%	2,38%	1,61%
Baleares	2,12 %	-8,07%	3,92 %	2,59 %	1,27%	2,25%	1,19 %	0,58%	1,03%
Barcelona	-3,40 %	-13,47 %	28,18 %	4,69 %	5,22 %	3,52 %	2,14%	2,38%	1,61%
Las Palmas	-1,13 %	-34,63%	10,12 %	4,69 %	5,22 %	3,52 %	2,14%	2,38%	1,61%
Melilla	-4,05%	-59,52 %	-0,31%	2,59 %	1,27%	2,25%	1,19 %	0,58%	1,03%
Valencia	332,46 %	-19,24%	45,60%	4,69 %	5,22 %	3,52 %	2,14%	2,38%	1,61%
Vigo	-10,77 %	-33,91%	17,37 %	5,90 %	6,49%	6,27%	2,68%	2,94%	2,85%

Fuente: elaboración propia

A partir de las referencias de la tabla anterior, hemos calculado las previsiones anuales de las variaciones de los diferentes tráficos en los distintos puertos, cuya media para el intervalo temporal 2009-2013 son las que se muestran en la *Tabla* 4.20. No hemos considerado oportuno realizar la simulación al año 2020, ya que las características de estos puertos, ubicados mayoritariamente en la fachada Sur/Este y con claro predominio de la mercancía general, lleva a la necesidad de abordar una plan de infraestructuras de adecuación de las terminales. De no ser así, al estar asumiendo un escenario "sin actuaciones" el ratio de ocupación superaría el 80% (tal y como hemos comentado anteriormente), lo que llevaría a la saturación de las terminales impidiendo mantener un estándar de calidad de servicio elevado.

Tabla 4.20. Variaciones medias estimadas 2009-2013

AAPP	Variaciones medias previstas 2013/09						
	GL	GS	MG				
Bahía de Algeciras	-0,25%	-21,67 %	12,11 %				
Baleares	3,32 %	-2,04%	3,73 %				
Barcelona	0,32 %	-5,12 %	16,00 %				
Las Palmas	1,56 %	-18,11 %	6,97%				
Melilla	-0,04 %	-36,12 %	1,47 %				
Valencia	126,36 %	-8,51 %	24,19 %				
Vigo	-3,80 %	-17,64 %	10,67%				

Fuente: elaboración propia

Conocidas las variaciones medias previstas para los próximos años hemos calculado de nuevo la eficiencia prevista y el ranking de los puertos integrantes del grupo 3 a través de la aplicación del análisis DEA con tolerancias. En concreto, hemos considerado como posibles variaciones o tolerancias estimadas para el output las variaciones previstas en la *Tabla* 4.20. Al input le hemos asignado un nivel de tolerancia nulo, tal y como hicimos en el análisis de la eficiencia global del sistema, puesto que hemos asumido un escenario "sin actuaciones" en el que no van a realizarse nuevas inversiones.

Aplicando el modelo de eficiencia con tolerancias, los resultados del periodo 2008-2013 son los que se muestran en la *Tabla* 4.21. En ella podemos observar el nivel de eficiencia

obtenido por los puertos a partir del input y outputs originales (ORIGINAL), el score de eficiencia que se obtendría en el mejor de los casos (MÁXIMO) y el nivel de eficiencia alcanzado si se diera la peor situación posible (MÍNIMO). Junto a estos índices de eficiencia, la *Tabla* 4.21 muestra el score medio (MEDIA) para cada unidad y los ratios R<sup>1</sup> y R<sup>2</sup> que hemos empleado anteriormente para la jerarquización de las unidades sometidas a estudio.

Tabla 4.21. Scores previstos y ranking GRUPO 3 (2013)

Orden	AAPP	Máximo	Original	Mínimo	Media	R¹	R²
1	Bahía de Algeciras	1	1	1	1	1	
1	Baleares	1	1	1	1	1	
3	Valencia	1	1	0,9750	0,9964		0,9838
4	Vigo	0,5309	0,4691	0,4090	0,4697		0,4697
5	Barcelona	0,4874	0,4489	0,4331	0,4543		0,4543
6	Las Palmas	0,4572	0,4109	0,3753	0,4110		0,4110
7	Melilla	0,1152	0,0945	0,0767	0,0959		0,0959

Fuente: elaboración propia

Como puede observarse en la *Tabla* 4.21, las AAPP de Bahía de Algeciras y Baleares encabezan el ranking, seguidas del puerto Valencia. Algo más alejadas, en cuanto a niveles de eficiencia prevista, quedan las AAPP de Vigo, Barcelona y Las Palmas; y muy por debajo el puerto de Melilla que queda catalogado como completamente ineficiente.

De nuevo, nos planteamos si la clasificación obtenida diferirá al eliminar el puerto de Bahía de Algeciras de la muestra. Esta unidad, catalogada como influyente a lo largo de todo el trabajo, condiciona y altera la valoración del resto de puertos analizados, como se observa en la *Tabla* 4.22. Al valorar nuevamente la eficiencia del grupo de puertos sin Bahía de Algeciras, los puertos de Baleares y Valencia pasan a liderar el grupo.

Tabla 4.22. Scores previstos y ranking GRUPO 3 SIN BAHÍA de ALGECIRAS (2013)

Orden	AAPP	Máximo	Original	Mínimo	Media	R¹	R²
1	Baleares	1	1	1	1	1	
1	Valencia	1	1	1	1	1	
3	Barcelona	1	1	0,8026	0,9351	0	0,8592
4	Las Palmas	1	0,9499	0,6810	0,8748	0	0,8052
5	Vigo	0,7213	0,4870	0,4340	0,5497	0	0,5497
6	Melilla	0,2124	0,1527	0,1211	0,1617	0	0,1617

El tercer puesto de la clasificación lo ostenta la Autoridad Portuaria de Barcelona, seguido a poca distancia del puerto de Las Palmas. Ambos puertos obtienen un score muy alto empleando los datos originales y llegarían a obtener el máximo nivel de eficiencia si se diera el mejor de los casos. No obstante, el score mínimo que podrían llegar a obtener en el peor de los escenarios difiere de la unidad, lo que implica que ya no serían completamente eficientes y por ello ocupan el tercer y cuarto puesto de la clasificación. A más distancia se encuentra el puerto de Vigo, ocupando el quinto puesto en el ranking, puesto que ni en el mejor de los casos obtendría la máxima eficiencia. Cierra la ordenación el puerto de Melilla con unos scores muy reducidos, lo que nos llevaría a catalogar a este puerto como totalmente ineficiente.

#### 4.5. Conclusiones generales

Finalizamos el presente trabajo destacando las principales conclusiones derivadas del mismo. Junto a los resultados que podemos extraer de los análisis efectuados en este capítulo, y que nos van a permitir inferir sobre la futura eficiencia del SPE, resumimos las principales conclusiones que se han ido apuntando a lo largo del desarrollo de la investigación.

En primer lugar, queremos destacar que los resultados alcanzados tras la aplicación de la metodología DEA a la totalidad de puertos nacionales, en el período 1994-2008, ponen de manifiesto que el Sistema Portuario Español está integrado por un conjunto de Autoridades Portuarias que, en su mayoría, han sabido gestionar eficientemente sus recursos para el desarrollo de su actividad.

En concreto, los índices de eficiencia obtenidos tras la aplicación del modelo CCR (suponiendo rendimientos constantes a escala para las unidades analizadas) ponen de manifiesto que, en términos medios, el 68% de los puertos tienen una eficiencia que catalogamos como media-alta, y este porcentaje asciende al 89% si el modelo empleado en el estudio de la eficiencia relativa de dichas unidades es el modelo BCC (con rendimientos variables a escala).

Por contra, el hecho de suponer que no todos los tráficos tienen la misma importancia relativa —admitiendo un mayor peso de la mercancía general frente al tráfico de graneles y mayor relevancia de los graneles sólidos frente a los líquidos- (DEA con restricciones en los pesos o modelo AR) proporciona a los puertos analizados niveles de eficiencia inferiores a los obtenidos con la metodología tradicional. En concreto, la aplicación del modelo AR revela únicamente a cuatro puertos como muy eficientes: Almería, Baleares, Ferrol-San Cibrao y Valencia. Estos cuatro puertos ya ocupaban lugares destacados tras el análisis CCR, pero han sido destacados por el modelo AR por tener una gran actividad en proporción a su infraestructura y poseer unos niveles de tráfico muy especializados en graneles sólidos (Almería y Ferrol-San Cibrao)<sup>11</sup> o mercancía general (Baleares y Valencia)<sup>12</sup>, que son los outputs más ponderados por el análisis.

Al analizar la eficiencia del SPE a través del modelo FDH aparecen múltiples unidades eficientes, ya que la mayoría de ellas se comparan con si misma. Esto dificulta, a priori, realizar una ordenación entre ellas.

En segundo lugar, el Sistema Portuario Español presenta una clara estructura que coincide con la clasificación tradicional de los puertos en función de sus tráficos.

El estudio de la estructura del SPE, delimitando grupos de puertos similares entre sí, ha permitido abordar el estudio de la

- (11) Más del 87% del tráfico del puerto de Almería, en el 2008, correspondió a graneles sólidos. Esta cifra ascendió al 76% en el puerto de Ferrol-San Cibrao.
- (12) El 69,5% del tráfico de la Autoridad Portuaria de Baleares y el 81,2% en el puerto de Valencia correspondió, en el 2008, a mercancía general.

eficiencia técnica del SPE de un modo más detallado, conllevando a conclusiones más pormenorizadas.

La clasificación de los puertos analizados ha sido realizada tanto en función de su ubicación en la geografía española (según su pertenencia a una de las diferentes fachadas que ocupa el litoral español) como en función de sus tráficos y funcionamiento (a través del "análisis de conglomerados jerárquicos" o análisis *cluster*). Esta última tipificación presenta grandes similitudes con la clasificación tradicional, y pone de manifiesto el hecho de que la especialización en la estructura del tráfico contribuye en gran medida a la caracterización de los puertos.

El análisis sectorial de la eficiencia del SPE revela que la mayoría de puertos mejoran su nivel de eficiencia relativa si se comparan dentro del grupo al que pertenecen.

De los cuatro grupos delimitados por el análisis *cluster*, el GRUPO 3 es el que mejores resultados presenta. Dentro de este grupo destacan los puertos de Bahía de Algeciras, Baleares, Barcelona y Valencia.

En tercer lugar, La AP de Bahía de Algeciras es una unidad influyente en el sistema.

Se trata de una unidad que difiere en gran medida del resto, puesto que, por su posición estratégica y su idiosincrasia, consigue gestionar un gran volumen de tráficos con una infraestructura menor que el resto de puertos que integran el grupo. Este "comportamiento diferente" es el que ha determinado en gran medida el nivel de eficiencia del resto de unidades y por ello, ha sido catalogada como unidad influyente dentro del grupo.

La eficiencia de la mayoría de los puertos mejora considerablemente al eliminar la Autoridad portuaria de Bahía de Algeciras, tanto en el modelo CCR como el modelo BCC. Por ejemplo: el puerto de Barcelona, con modelo BCC, pasa de ocupar en el ranking el puesto 24 a ser uno de los primeros en eficiencia al eliminar al puerto de Bahía de Algeciras de la muestra. En este mismo contexto, el puerto de Valencia se convierte en líder de la clasificación y pasa a ser calificado, junto a Barcelona, Gijón o Tarragona, como completamente eficiente.

En cuarto lugar, el estudio de la evolución de la eficiencia en el tiempo corrobora la idea intuitiva de que la eficiencia relativa de todos los puertos del actual SPE no ha permanecido invariable a lo largo del horizonte temporal contemplado (1994-2008).

El análisis de la evolución de la eficiencia del conjunto de puertos evaluados se ha realizado a través de dos metodologías diferentes y complementarias: el Índice de Malmquist y el Análisis Windows o DEA-Window.

El cálculo del Índice de Malmquist, a nivel global y por períodos quinquenales, ratifica que la frontera productiva se ha desplazado (lo que implica un gran avance tecnológico) desde 1994 hasta 2008.

Profundizando más en esta cuestión, al desglosar el horizonte temporal total analizado en intervalos de cinco años, podemos concluir que es a finales de la década de los noventa cuando mayor crecimiento y avance tecnológico experimentan la gran mayoría de puertos pertenecientes al SPE. Este desarrollo se ve mermado al entrar en el siglo XXI y retrocede a partir del 2004. En los cinco últimos años del análisis no sólo no ha existido progreso tecnológico sino que se ha dado lo que podríamos llamar "regreso técnico", puesto que todos los puertos registran pérdidas de productividad como consecuencia de un gran esfuerzo inversor que no ha sido acompañado de un crecimiento paralelo en su actividad. La actual crisis económica general ha alcanzado al sector portuario reduciendo considerablemente el volumen de tráfico de la mayoría de AAPP.

El análisis de la evolución temporal de su eficiencia técnica a través del Índice de Malmquist ratifica que tan sólo seis de las 28 AAPP que integran el actual SPE (Barcelona, Cartagena, Ferrol-S. Cibrao, Gijón, Castellón y Valencia) han conseguido ser más eficientes en si mismas a lo largo del horizonte temporal analizado, al situarse más cerca de la correspondiente frontera tecnológica.

La aplicación del Análisis Windows o DEA-Windows confirman que la eficiencia relativa de todos los puertos del actual SPE ha fluctuado a lo largo del tiempo, a excepción de la Autoridad portuaria de Bahía de Algeciras (ya que siempre ha permanecido en el máximo nivel de eficiencia).

Según el Window Analysis los puertos que más han mejorado su nivel de eficiencia son: Cartagena y Tarragona, seguidos de Almería, Castellón y Ferrol-S. Cibrao.

En quinto lugar, al introducir incertidumbre en los datos (debida a posibles errores o inexactitudes en los datos), el análisis DEA con tolerancias revela que no todos los puertos presentan la misma sensibilidad a variaciones en su inmovilizado y tráficos (distinta amplitud o diferencia entre el mejor y peor de los casos).

Sólo 10 puertos alcanzarían el nivel máximo de eficiencia en el mejor de los casos posibles: A Coruña, Almería, Avilés, Baleares, Barcelona, Cartagena, Castellón, Ferrol-San Cibrao, Tarragona y Valencia. El resto de puertos no llegarían a ser eficientes ni estando en la situación óptima. No obstante, puertos como Santa Cruz de Tenerife, Gijón o Las Palmas mejorarían mucho su nivel de eficiencia en el mejor caso posible; mientras que otros, como Alicante, Santander, Melilla y Sevilla no llegarían a niveles aceptables de eficiencia.

La introducción de incertidumbre a partir del modelo DEA fuzzy en el análisis de la eficiencia del SPE revela que los puertos de Almería, Cartagena, Ferrol-San Cibrao y Valencia son completamente eficientes (score unitario), con independencia del nivel de posibilidad ( $\alpha$ ) considerado. Por tanto, los resultados no difieren significativamente a los obtenidos en condiciones de certeza.

**En sexto lugar,** un análisis pormenorizado del GRUPO 3 concluye que sólo dos puertos de este grupo son completamente eficientes: Baleares y Valencia. Este último obtiene el primer puesto en el ranking si no consideramos a la Autoridad Portuaria de Bahía de Algeciras, tanto en el DEA con tolerancias como en el DEA fuzzy.

Les sigue, en tercer lugar, el puerto de Barcelona puesto que es originariamente muy eficiente y seguirá siéndolo en el mejor de los casos. Pero en el peor de los casos dejaría de ser completamente eficiente. El cuarto puesto lo ostenta el puerto de Las Palmas que, aunque no es completamente eficiente en sus orígenes, podría llegar a serlo en el mejor de los casos. Si se da la situación más desfavorable queda bastante alejado del óptimo. En quinto y sexto lugar: Vigo y Melilla. Son ineficientes de partida, pudiendo empeorar en el peor de los casos. En la mejor situación posible, no llegarían a ser completamente eficientes.

**En séptimo lugar,** ofrecemos una ordenación jerárquica de los puertos en función de su nivel de eficiencia.

La jerarquización de los puertos tiene un interés especial para las autoridades de coordinación ya que, frente a unos resultados en los que muchas de las unidades pueden considerarse eficientes, permite discriminar entre ellas, haciendo factible el poder priorizar aquellas que presenten mejores valores globales.

También los gestores de los puertos necesitan una unidad de comparación, y considerar que alcanzan un score unitario solamente significan que realizan su labor de forma ade-

cuada pero no de la "mejor" forma posible, y es por ello que, con el objetivo de mejorar su gestión, necesitan conocer en qué posición del ranking se encuentran; y así determinar los puntos fuertes a reforzar y los débiles a mejorar.

Los resultados obtenidos en el ranking de las unidades a partir del modelo FDH están en consonancia con los obtenidos a partir de los modelos DEA tradicionales (CCR y BCC), teniendo en cuenta la totalidad de puertos del sistema (con o sin la consideración del puerto de Bahía de Algeciras).

**En octavo lugar,** las perspectivas futuras de la eficiencia del SPE han sido elaboradas a partir la información facilitada por Puertos del Estado en el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT).

En el PEIT se presentan las previsiones en el tráfico, capacidad y grado de utilización de los distintos puertos nacionales (agrupados por fachadas marítimas), tanto a medio (2013) como a largo plazo (2020) en dos escenarios distintos: primero, un escenario "SIN ACTUACIONES" en el que las AAPP no prevén incrementar sus infraestructuras y, segundo, un escenario "CON ACTUACIONES" en el que las AAPP españolas aumentarían sus capacidades.

En base a estas previsiones, podemos concluir que un escenario SIN ACTUACIONES llevaría a un incremento del grado de ocupación de las diferentes terminales que superaría el 50% (nivel de ocupación actual en el 2008) para los dos horizontes temporales analizados. El problema se acentúa si observamos los diferentes tipos de tráfico, puesto que en los puertos que trafican con mercancía general su nivel de ocupación podría llegar al 62% a medio plazo, y al 74% a largo.

Por contra, si aconteciera un escenario CON ACTUACIONES, la mayoría de las AAPP mejorarían notablemente su nivel de ocupación, evitando la saturación de los puertos y permitiendo, supuestamente, una mayor calidad de los servicios portuarios prestados.

Ambos escenarios previstos en el PEIT parten de unas previsiones en cuanto a tráficos bastantes optimistas, no acordes con los últimos datos disponibles sobre la evolución del tráfico portuario y la incidencia de la actual crisis económica en éste. En este contexto, si suponemos un estancamiento en el crecimiento de la actividad portuaria (el tráfico

portuario se mantiene en los niveles del 2008) pero se deciden llevar a término las actuaciones previstas (escenario CON ACTUACONES), obtendríamos un nivel de ocupación estimado del 38,85% anual por término medio en el período 2014-2020<sup>13</sup>.

En definitiva, en este nuevo contexto (estancamiento en el tráfico), llevar a término nuevas inversiones en infraestructuras (escenario CON ACTUACIONES) se traduciría en un claro exceso de la capacidad instalada en los puertos, especialmente en las terminales con claro predominio de la mercancía general.

Muestra de este exceso de oferta -particularmente centrada en terminales de contenedores- son, por un lado, las ampliaciones ejecutadas por puertos con altas cuotas de mercado en el tráfico contenerizado. Como ejemplo, destacan las recientes ampliaciones de las terminales de contenedores de los puertos de Bahía de Algeciras, Barcelona y Valencia, debidas, en parte, a la pugna comercial que estos puertos mantienen entre sí. Por otro lado, están las ampliaciones llevadas a cabo por puertos más pequeños aprovechando las ampliaciones generales de los últimos años (por ejemplo, el puerto de A Coruña o Gijón), o el caso de puertos como Tarragona, Castellón o Cartagena, que han decidiendo crecer vía tráfico de contenedores en un intento perfectamente comprensible de mejorar su cuota en el SPE.

Respecto al ranking obtenido a partir del estudio de la eficiencia de los puertos del SPE, cabe decir que es coherente con los resultados obtenidos inicialmente a partir de datos históricos. Tras excluir al puerto de Bahía de Algeciras de la muestra (por seguir siendo una unidad influyente), las unidades previsiblemente más eficientes del sistema pasan a ser la Autoridad Portuaria de Valencia, seguida de los puertos de Cartagena y Ferrol-San Cibrao.

Para finalizar queremos señalar, cualquier previsión de futuro está subordinada a la información y predicciones manejadas, y

(13) En las terminales especializadas en el tráfico de mercancía general, el nivel de ocupación pasaría a ser del 35,72% en el período señalado.

exigiría analizar las diferencias entre lo observado y lo previsto en la medida en que los valores ciertos de las variables manejadas vayan siendo conocidas, con el fin de hacer los ajustes pertinentes y llegar a nuevas predicciones más factibles y acordes con la realidad.

En cualquier caso, las conclusiones obtenidas y la metodología aplicada son tributarias de la calidad y desagregación de los datos a los que hemos tenido acceso, con sus dificultades y deficiencias inherentes que hemos intentado suplir empleando las herramientas metodológicas más adecuadas en este contexto.

Confiamos que los resultados y conclusiones aportadas proporcionen un punto de partida para el estudio y la mejora continua de la eficiencia del sistema portuario de interés general en conjunto y de cada uno de los puertos que lo integran, promoviendo las medidas oportunas para que esto sea posible en pro del desarrollo económico y social del país.

# Bibliografía

- ANDERSEN P. y PETERSEN, N.C. "A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis". *Management Science*, 1993, vol. **39**, p. 1261–1264.
- APARISI, J.A. "La eficacia del Cuadro de Mando Integral desde el análisis de sus atributos y la contribución en la mejora de la ejecución estratégica: estudio del caso de la Autoridad Portuaria de Valencia". Director: Vicente M. Ripoll Feliu. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, Departamento de Contabilidad, 2006.
- ASMILD, M.; PARADI, J. C.; AGGARWALL, V. et al. "Combining DEA window analysis with the Malmquist Index approach in a study of the Canadian banking industry". *Journal of Productivity Analysis*, 2004, vol. 21, p. 67–89.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A. y COOPER, W. W. "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*, 1984, vol. 30, n. 9, p. 1078-92.
- BAÑOS, J.; COTO, P. y RODRÍGUEZ, A. "Allocative efficiency and overcapitalization: an application". *International Journal of Transport Economics*, 1999, vol. XXVI, n. 2, p. 191-199.

- BARROS, C. y ATHANASSIOU, M. "Efficiency in European Seaports with DEA: evidence from Greece and Portugal". *Maritime Economics & Logistics*, 2004, vol. 6, p. 122–40.
- BARROS, C. "Incentive regulation and efficiency of Portuguese Port Authorities". *Maritime Economics & Logistics*, 2003, vol. 5, n. 1, p. 55–69.
- BONILLA, M.; CASASUS, T.; MEDAL, A.; et al. "An efficient analysis with tolerances of the Spanish Ports System". *International Journal of Transport Economics*, 2004, vol. XXXI, n. 3, p. 379-400.
- BONILLA, M.; CASASUS, T.; MEDAL, A.; et al. "The traffic in the Spanish ports: an efficient analysis". *International Journal of Transport Economics*, 2002, vol. XXIX, n. 2, p. 215-230.
- BOSCA, J. E.; MARTÍNEZ, A.; LIERN, V.; et al. "Ranking decision making units by means of soft computing DEA models." *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2011, vol. 19, to appear.
- BOSCÁ, J.E.; MARTÍNEZ, A.; LIERN, V.; et al. "Un modelo DEA para datos imprecisos: tolerancias y análisis de incidencia". En: *Actas de las X Jornadas de ASEPUMA*. Madrid, septiembre 2002. ISBN: 84-362-4817-1. CARLSSON, C. y KORHONEN, P. "A parametric approach to fuzzy linear programming". *Fuzzy Sets and Systems*, 1986, vol. 20, p.17-30.
- CAVES, D.; CHRISTENSEN, L. y DIEWERT, W. E. "The economic theory of index numbers and measurement of input, output and productivity". *Econometrics*, 1982, vol. 50, p. 1393-1414.
- CHARNES, A. y COOPER, W.W. "Deterministic equivalents for optimizing and satisfying under chance constricts". *Operations Research*, 1963, vol. 11, n. 1, p. 18-39.
- CHARNES, A. y NERALIC, L. "Sensitivity analysis of the additive model in Data Envelopment Analysis". European Journal of Operational Research, 1990, vol. 48, p. 332–341.

- CHARNES, A.; CHARNES, J.; ROUSSEAU, J. et al. "Sensitivity and stability of efficiency classifications in Data Envelopment Analysis". *Journal of Productivity Analysis*, 1996, vol. **7**, p. 5–18.
- CHARNES, A.; CLARK, C. T.; COOPER, W. W. et al. "A developmental study of Data Envelopment Analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. Air Forces", *Annals of Operation Research*, 1985, vol. 2, p. 95-112.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W. y RHODES, E. "Measuring the inefficiency of decision making units". European Journal of Operational Research, 1978, vol. 2, p. 429-444.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; et al. "Sensitivity and stability in DEA".

  Annals of Operations Research. 1985, vol. 2, p. 139-156.
- CHARNES, A.; HAAG, S.; JASKA, P.; et al. "Sensitivity of efficiency classifications in the additive model of Data Envelopment Analysis". *International Journal of Systems Science*, 1992, vol. **23**, p. 789–798.
- CHEN, CH. B. y KLEIN, C. M. "A simple approach to ranking a group of aggregated fuzzy utilities". Systems, Mans and Cybernetics. Part B. C.; 1997, vol. 27, Issue: 1, p. 26 35
- CHERCHYE, L.; KUOSMANEN T. y POST T. "FDH directional distance functions with an application to European Commercial Banks", *Journal of Productivity Analysis*, 2001, vol. 15, p. 210-215.
- CHERCHYE, L.; KUOSMANENT. y POST,T. "What is the economic meaning of FDH? A reply to Thrall". *Journal of Productivity Analysis*, 2000, vol. 13. p. 263-267.
- COELLI, T.; RAO, D. S.; O'DONNELL, C. J. et al. An introduction to efficiency and productivity analysis. Boston: Springer Publishing MAP, 1997. ISBN: 978-0-7923-8060-3.
- COOPER, W. W.; LI, S.; SEIFORD, L. M. et al. "Sensitivity and stability analysis in DEA: some recent developments". *Journal of Productivity Analysis*, 2001, vol. 15, p. 217-246.

- COOPER, W. W.; SEIFORD, L.M. y TONE, K. Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, references. Boston: Kluwer Academic, 2000. ISBN: 0-7923-8693-0
- COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M. y TONE, K. *Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses*. USA: Springer, 2006. ISBN: 0-387-28580-6.
- COTO, P.; BAÑOS, J. y RODRIGUEZ A. "Economic efficiency in Spanish ports: some empirical evidence". *Maritime Policy y Management*, 2000, vol. 27, n. 2, p. 169-174.
- CULLINANE, K. P. B. y SONG, D-W. "Port privatization: principles and practice". *Transport Reviews*, 2002, vol. 22, n. 1, p. 55–75.
- CULLINANE, K. P. B. y TALLEY W. K.: Port economics, research in transportation economics, Vol. XVI. Amsterdam: Elsevier, 2006. ISBN: 978-0-7623-1198-9.
- CULLINANE, K. P. B.; SONG, D.W.; JI, P.; et al. "An application of DEA windows analysis to container port production efficiency". *Review of Network Economics*, 2004, vol. 3, n. 2, p. 186–208.
- CULLINANE, K. P. B.; SONG, D.W.; JI, P.; et al. "The application of mathematical programming approaches to estimating container port production efficiency". *Journal of Productivity Analysis*, 2005, n. 24, p. 73–92.
- CULLINANE, K. P. B.; SONG, D.W.; JI, P.; et al. "The relationship between privatization and DEA estimates of efficiency in the container port industry". *Journal of Economics & Business*, 2005, vol. 57, p. 433–62.
- CULLINANE, K. P. B.; SONG, D.W.; JI, P.; et al. "The technical efficiency of container ports: comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis". *Transportation Research* Part A, 2006, vol. 40, n. 4, p. 354–74.
- DEPRINS, D.; SIMAR, L. y TULKENS, H. "Measuring labour-efficiency in post offices". En: MARCHAND, M.; PESTIEAU, P. y TULKENS, H. (eds). *The performance of public enterprises: concepts and measurement*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1984. ISBN-10: 0444875514

- DÍAZ, J. J. "Descomposición de la productividad, la eficiencia y el cambio técnico a través de la función de costes cuadrática. Una aplicación a la operación de estiba en España". Director: Eduardo Martínez Budría y Sergio Jara Díaz. Tesis doctoral. Universidad de La Laguna, 2003.
- EFRON, B. "Bootstrap methods: another look at the jackknife". *Annals of Statistics*, 1979, n. 7, p. 1-26.
- EFRON, B. The jackknife, the Bootstrap and other resampling plans. Society for Industrial and Applied Mathematics. USA: CBMS NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, 1982. ISBN: 0-89871-179-7
- ENTANI, T.; MAEDA, Y. y TANAKA, H. "Dual models of interval DEA and its extension to interval data". European Journal of Operational Research, 2002, vol. 136, p. 32–45.
- España. 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. *Boletín Oficial del Estado*, 7 de agosto de 2010, núm. 191, p. 68986.
- ESTACHE, A.; GONZÁLEZ, M. y TRUJILLO, L. "Efficiency gains from port reform and the potential for yardstick competition: lessons from México". World Development, 2002, vol. 30(4), p. 545–60.
- ESTACHE, A.; TOVAR DE LA FE, B. y TRUJILLO, L.: "Sources of efficiency gains in port reform: a DEA decomposition of a Malmquist index for México". *Utility Policy*, 2004, vol. 30, n. 4, p. 221–30.
- FÄRE, R.; GRASSKOPF, S. y LOVELL, C.A.K.: Production Frontiers. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. ISBN: 0-521-42033-4.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. y LOVELL, C.A.K.: *Measuring of efficiency of production*. Boston: Kluwe-Nijhoff Publishing, 1985. ISBN: 0-8983-8155-X.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LINDGREN, B.; et al. "Productivity developments in Swedish hospitals: a Malmquist output index approach". En: CHARNES, A.; COOPER, W.W.; LEWIN, A.Y.; et al. (eds). Date Envelopment Analysis: theory methodology

- and applications. Amsterdam, Kluwer Academic Publishers, p.253-272. ISBN: 0-7923-9479-8.
- GARCÍA M. "El sistema portuario andaluz como motor del desarrollo comercial". Boletín Económico de Andalucía, 2002, n. 31-32, p. 111-124.
- GARCIA, L. y MARTIN, M. "Impact of port investment on efficiency and capacity to attract traffic in Spain: Bilbao versus Valencia". *Maritime Economics & Logistics*, 2007, vol. 9, p. 254–267.
- GILLEN, D. y LALL, A. "Developing measures of airport productivity and performance: an application of Data Envelopment Analysis". *Transportation Research*, 1997, vol. 33, n. 4, p. 261-273.
- GIMENEZ, V. M. "Un modelo FDH para la medida de la eficiencia en costes de los departamentos universitarios". Hacienda Pública Española, 2004, vol. 168, p. 69-92.
- GONZÁLEZ, M. M. y TRUJILLO, L. "Efficiency measurement in the port industry: a survey of the empirical evidence". *Journal of Transport Economics and Policy*, 2009, vol. 43, n. 2, p. 157–192.
- GONZÁLEZ, M. M. y TRUJILLO, L. "Reforms and infrastructure efficiency in Spain's container ports". *Transportation Research* Part A, 2008, vol. 42, n. I, p. 243–257.
- GONZÁLEZ, X. M. y MILES, D. "Statistical precision of DEA: a Bootstrap application to Spanish public services". *Applied Economics Letter*, 2002, vol. 9, n. 2, p. 127-132.
- GRANDLAY, A. "Aproximación a la dimensión territorial de los puertos mediterráneos españoles". *Puertos*, 2004, vol. 113, p. 4-11.
- GUO, P. y TANAKA, H. "Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method". Fuzzy Sets and Systems, 2001, vol. 119, p. 149-160.
- HOSSEINZADEH LOTFI, F.; JAHANSHAHLOO, G. R. y ESMAEILI, M. "Classification of decision making units with interval data using SBM model". *Applied Mathematical Sciences*, 2007, vol. I, n. 14, p. 681–689.

- HOUGAARD, J. L. "Fuzzy scores of technical efficiency". *European Journal of Operational Research*, 1999, vol. 115, p. 529–541.
- JAHANSHAHLOO, G. R.; HOSSEINZADEH, F.; SHOJA, N. et al. "Sensitivity and stability analysis in DEA". Applied Mathematics and Computation, 2005, vol. 169, n. 2, p. 897-904.
- JAHANSHAHLOO, G. R. y KHODABAKHSHI, M. "Using input-output orientation model for determining most productive scale size in DEA". *Applied Mathematics and Computation*, 2003, vol. 146, n. 2-3, p. 849-855.
- JARA, S.; MARTINEZ, E.; CORTES, C.; et al. "A multioutput cost function for the services of Spanish port infrastructure". *Transportation*, 2002, vol. 29, n. 4, p. 419-437.
- KAO, C. y LIU, S.T. "Fuzzy efficient measures in Data Envelopment Analysis". Fuzzy Sets and System, 2000, vol. 119, p. 149-160.
- KIM, M. y SACHISH, A. "The structure of production, technical change and productivity in a port". *International Journal of Industrial Economics*, 1986, vol. 35. n. 2, p. 209-233.
- KOOREMAN, P. "Nursing home care in The Netherlands: a non-parametric efficiency analysis". *Journal of Health Economics*, 1994, n. 13, p. 301-316.
- KRUSKAL, W. H. y WALLIS, W. A. "Use of ranks in one-criterion variance analysis". *Journal of American Statistics Association*, 1952, vol. 47 (260), p. 583–621.
- LAGO, J.A. "Los objetivos económicos de las autoridades portuarias". *Boletín Económico del ICE*. 1995, n. 2460-2461, junio-julio, p. 27 -45.
- LEÓN,T.; LIERN,V.; RUIZ, J. L. et al. "A fuzzy mathematical programming approach to the assessment of efficiency with DEA models". Fuzzy Sets and Systems, 2003, vol. 139, n. 2, p. 407-419.
- LIU, Z. "The comparative performance of public and private enterprises". *Journal of Transport Economics and Policy*, 1995, vol. 29, n. 3, p. 263-274.

- LÖTHGREN, M. "How to bootstrap DEA estimators: a Monte Carlo comparison". Working Paper Series in Economic and Finance, Stockholm School of Economics, 1998, n. 223, p.1-22.
- LOVELL, C. y VANDEN EECKAUT, P. "Frontier tales: DEA and FDH". En: DIEWERT, W.E.; SPREMANN, K. y STELING, F. (eds). *Mathematical modelling in economics*. Berlin: Springer-Verlag, 1993, pp. 446-457.ISBN: 3540572244.
- LOVELL, C.; WALTERS L. y WOOD, L. "Stratified models of education production using modified DEA and regression analysis". En: CHARNES, A.; COOPER, W.W.; LEWIS, A.Y.; et al. (eds). Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications. USA: Kluwer Academic Publishers, 1994. ISBN: 0-7923-9479-8.
- MALMQUIST, S. "Index numbers and inference curves". *Trabajos de Estadística*, 1953, vol. 4, n. 1, p. 209-242.
- MARTIN, M. El Sistema Portuario Español: regulación, entorno competitivo y resultados. Una aplicación del análisis envolvente de datos. Director: Agustí Segarra Blasco. Tesis doctoral. Universitat Rovira i Virgili, Departament de Gestió d'Empresa. 2002.
- MARTINEZ, E. "Un estudio econométrico de los costes del Sistema Portuario Español". Revista Asturiana de Economía, 1996, vol. 6, p. 135-149.
- MARTÍNEZ, E.; DÍAZ, R.; NAVARRO, M.; et al. "A study of the efficiency of Spanish Port Authorities using Data Envelopment Analysis". *International Journal of Transport Economics*, 1999, vol. XXVI, n. 2, p. 237-253.
- MEDAL, A. "Eficiencia del Sistema Portuario Español: estructura, evolución y perspectivas". Directores: María Bonilla Musoles y Ramón Sala Garrido. Tesis doctoral. Universitat de València. Departament de Finances Empresarials, 2010.
- MEDAL, A. y SALA, R. "Una metodología para la selección de las tolerancias en el análisis de eficiencia con DEA". En: Actas de las XVI Jornadas de ASEPUMA, (Cartagena, 16 18 de septiembre de 2008), vol. 16, n. 1, 2008. ISBN: 978-84-691-5533-2. MINISTERIO DE FOMENTO. Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes,

- 2005-2020. Madrid: Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, 2005. ISBN: 84-498-0747-6.
- NACIONES UNIDAS. "Conferencia de las Naciones Unidas sobre comercio y desarrollo (UNCTAD)". Review of Maritime Transport, 2008, TD/B/COM.3/85.
- NERLOVE, M. Estimation and identification of Cobb-Douglas production functions. Chicago: Rand McNally, 1965.
- NOTTEBOOM, T. E.; COECK, C. y VAN DEN BROECK, J. "Measuring and explaining relative efficiency of container terminals by means of Bayesian Stochastic Frontier models". *International Journal of Maritime Economics*, 2000, vol. 2(2), p. 83–106.
- OLESEN, O. B. y PETERSEN, N. C. "A presentation of GAMS for DEA". Computers and Operations Research, 1996, vol. 23, n. 4, p. 323-339.
- OLESEN, O. B. y PETERSEN, N. C. "Chance constrained efficiency evaluation". *Management Science*, 1995, vol. 41, p. 442-457.
- PALLIS A.A.; VITSOUNIS T. K. y DE LANGEN P.W. "Port economics, policy and management: review of an emerging research field". *Transport Reviews*, 2010, vol. 30, n. 1, p. 115–161.
- PARK, R. K. y DE, P. "An alternative approach to efficiency measurement of seaports". *Maritime Economics & Logistics*, 2004, vol. 6, p. 53–69.
- PASTOR, J. T.; RUIZ, J. L. y SIRVENT I. "A statistical test for detecting influential observations in DEA". European Journal of Operational Research, 1999, vol. 115, n.3, p. 542-554.
- PASTOR, J.T.; RUIZ; J. L. y SIRVENT, I. "An enhanced DEA Russell graph efficiency measure". European Journal of Operational Research, 1999, vol. 115, n. 3, p. 596-607.
- PESTANA, C. "A benchmark analysis of Italian seaports using data envelopment analysis". *Maritime Economics and Logistics*, 2006, vol. 8, p. 347-365.

- PUERTOS DEL ESTADO. Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad Estatal. Madrid: Ministerio de Fomento. 2000-2009.
- RAY, S. C. "Resource-use efficiency in public schools: a study of Connecticut Data". *Management Science*, 1991, vol. 37, p. 1620-1628.
- REUCHER E. y RÖDDER W. "A fuzzy DEA approach. Ranking production units in Taiwanese semiconductor industry". *Operations Research Proceedings*, 2004, vol. 14, p. 393-399.
- RODRIGUEZ, A. *Prospectiva económica de interés portuario*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, 2009. ISBN: 978-84-88975-70-6.
- RODRÍGUEZ, A.; TOVAR, B. y TRUJILLO, L. "Firm and time varying technical and allocative efficiency: an application for port cargo handling firms". *International Journal of Production Economy*, 2007, vol. 109, p. 149–161.
- RUA, C. "El Sistema Portuario Español". EOLI: Enginyeria d'Organització i Logística Industrial. 2006, IOC-DT-P-2006-9
- SANTOS, R. "Amarres con futuro". Revista del Ministerio de Fomento, 2001, vol. 501, noviembre, p. 118-126.
- SEIFORD, L. M. y ZHU, J. "Context-dependent data envelopment analysis: measuring attractiveness and progress". *Omega, the International Journal of Management Science*, 2003, vol. **31**, p. 397-408.
- SEIFORD, L. M. y ZHU, J. "Infeasibility of super efficiency data envelopment analysis models". *INFOR, Information Systems & Operational Research*, 1999, vol. 37, n. 2, p. 174–187.
- SEIFORD, L. M. y ZHU, J. "Sensitivity analysis of DEA models for simultaneous changes in all the data". *Journal of the Operational Research Society*, 1998, vol. **49**, p. 1060–1071.
- SEIFORD, L. M. y ZHU, J. "Stability regions for maintaining efficiency in data envelopment analysis". European Journal of Operational Research, 1998, vol. 108, p. 127–139.

- SEIFORD, L. M. "Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art 1978-1985". The Journal of Productivity Analysis, 1996, vol. 7, p. 99-137.
- SENGUPTA, J. K. "A fuzzy systems approach in Data Envelopment Analysis". *Computers and Mathematics with Applications*, 1992, vol. 24, p. 259–266.
- SIMAR, L. y WILSON, P. W. "Sensitivity analysis of efficiency scores: how to bootstrap in nonparametric frontier methods". *Management Science*, 1998, vol. 44, n. I, p. 49-61.
- SIMAR, L. "Aspects of statistical analysis in DEA-Type Frontiers Models". *Journal of Productivity Analysis*, 1996, vol. 7, p. 117-185.
- SIRVENT, I. "Algunos aspectos del problema de la evaluación de la eficiencia con modelos DEA". Director: Jesús T. Pastor Ciurana. Tesis doctoral. Universidad Miguel Hernández, 2001.
- SMIRLIS,Y. G.; MARAGOS E. K. y DESPOTIS D. K. "Data envelopment analysis with missing values: an interval DEA approach". *Applied Mathematics and Computation*, 2006, vol. 177, n. 1, p. 1-10.
- STAAT, M. "Bootstrapped efficiency estimates for a model for groups and hierarchies in DEA". European Journal of Operational Research, 2002, vol. 138, n. 1, p. 1-8.
- SUEYOSHI, T. "Comparisons and analysis of managerial efficiency and returns to scale of telecommunication enterprises by using DEA/WINDOW" Communications of the Operations Research Society of Japan, 1992, vol. 37, p. 210-219.
- SUN, D. B. "Evaluation of managerial performance in large commercial banks by Data Envelopment Analysis," *Ph.D. dissertation*. Graduate School of Business, University of Texas, Austin, TX, 1988. Cited by Cooper et al. (2006)
- TOLOO, M. y NALCHIGAR, S. "A new integrated DEA model for finding most BCC-efficient DMU". *Applied Mathematical Modelling*, 2009, vol. 33, n. I, p. 597-604.
- TONE, K. "A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis". European Journal of Operational Research, 2001, vol. 130, p. 498-509.

- TONGZON, J. "The port of Melbourne Authority's pricing policy: its efficiency and distribution implications". *Maritime Policy and Management*, 1993, vol. 20, n. 3, p. 179-203.
- TONGZON, J. "Efficiency measurement of selected Australian y other international ports using Data Envelopment Analysis". *Transportation Research, Part A*, 2001, vol. 35, p. 113-128.
- TONGZON, J. "Port choice and freight forwarders". *Transportation Research. Part E: Logistic and Transportation Review*, 2009, vol. 45, p. 186-195.
- TONGZON, J. y HENG, W. "Port privatization, efficiency and competitiveness: some empirical evidence from container ports (terminals)". *Transportation Research*, *Part A*, 2005, vol. 39, p. 405–24.
- TORTOSA, E.; GRIFELL, E.; ARMERO, C.; et al. "Sensitivity analysis of efficiency and Malmquist productivity indices. An application to Spanish saving banks". European Journal of Operational Research, 2008, vol. 184, n. 3, p. 1026-1084.
- TOVAR, B. "Análisis multiproductivo de los costes de manipulación de mercancías en terminales portuarias. EL Puerto de la Luz y de Las Palmas". Directores: Sergio Jara-Díaz y Lourdes Trujillo. Tesis doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Análisis Económico Aplicado, 2002.
- TRIANTIS, K. y GIROD, O. "A mathematical programming approach for measuring technical efficiency in fuzzy environment". *Journal of Productivity Analysis*, 1998, vol. 10, p. 85-102.
- TULKENS, H. "On FDH efficiency analysis: some methodological issues and applications to retail banking, courts and urban transit". *Journal of Productivity Analysis*, 1993, vol. 4, p. 183-210.
- TURNER, H.; WINDLE, R. J. y DRESNER, M.: "North American container port productivity: 1984–1997". *Transportation Research, Part E*, 2004, vol. 40, n. 4, p. 339–56.

- WANG, T. F. y CULLINANE, K. "The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management". *Maritime Economics & Logistics*, 2006, vol. 8, n. 1, p. 82–99.
- WANG, Y. M.; GREATBANKS, R. y YANG, J. B. "Interval efficiency assessment using Data Envelopment Analysis". Fuzzy Sets and Systems, 2005, vol. 153, n. 3, p. 347-370.
- YANG, H. H. y CHANG, CH.Y. "Using DEA window analysis to measure efficiencies of Taiwan's integrated telecommunication firms". *Telecommunications Policy*, 2009, vol. 33, p. 98–108.
- ZADEH, L.A. "Fuzzy Sets". Information and Control, 1965, vol. 8, p. 338–353.
- ZHU, J. "Robustness of the efficient DMUs in Data Envelopment Analysis". European Journal of Operational Research, 1996, vol. **90**, p. 451–460.
- ZHU, J. Quantitative models for performance evaluation and benchmaking: DEA with spreadsheets and DEA excel solver. Boston: Kluwer Academic, 2003. ISBN: 1-4020-7082-9.
- ZIMMERMANN, H. J. "Description and optimization of fuzzy system". *International Journal of General System*, 1976, vol. 2, p. 209-216.

## Biblioteca Técnica de la Fundación VALENCIAPORT Serie: Planificación y Gestión Portuaria

Análisis de la eficiencia del Sistema Portuario Español: estructura, evolución y perspectivas

La Ley 33/2010, de 5 de agosto, señala explícitamente en su Preámbulo I que: "la competitividad de nuestro sistema productivo viene condicionada por la eficacia y eficiencia de los puertos". De esta forma queda patente la necesidad de disponer en el actual Sistema Portuario Español de unos puertos eficientes, base del desarrollo del transporte marítimo a nivel internacional.

Aunque el término de "eficiencia" portuaria se ha referido tradicionalmente a la velocidad y la confiabilidad de los servicios portuarios, cada vez adquiere un significado más amplio. Este nuevo concepto de eficiencia pasa necesariamente por la optimización de los recursos portuarios con el fin de alcanzar unos objetivos previstos con el mínimo de recursos disponibles, o bien, obtener el máximo objetivo a partir de unos recursos dados. En este contexto, el análisis DEA o Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis) se constituye en una herramienta idónea para el análisis de la eficiencia de producción de un conjunto de instituciones o individuos.

En concreto, la presente monografía analiza la estructura y eficiencia del Sistema Portuario Español empleando la metodología DEA, tanto en formulación original como en algunas de sus extensiones. La aplicación de estos modelos nos permitirá ampliar el estudio de la eficiencia portuaria a un entorno incierto, medir su evolución a lo largo del tiempo, establecer un ranking entre los puertos españoles en función de su nivel de eficiencia, o elaborar pronósticos sobre sus niveles de eficiencia en el futuro.

