

DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA PORTUARIA Y DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DE BUQUES

IVONE PÉREZ PÉREZ

TESIS DOCTORAL

**DOCTORADO EN PERSPECTIVAS CIENTÍFICAS SOBRE EL
TURISMO Y LA DIRECCIÓN DE EMPRESAS TURÍSTICAS**

**Facultad de Economía, Empresa y Turismo
Departamento de Análisis Económico Aplicado**

Las Palmas de Gran Canaria

Abril de 2017

DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA PORTUARIA Y DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DE BUQUES

IVONE PÉREZ PÉREZ

TESIS DOCTORAL

**DOCTORADO EN PERSPECTIVAS CIENTÍFICAS SOBRE EL TURISMO
Y LA DIRECCIÓN DE EMPRESAS TURÍSTICAS**

**Dirigida por la Dra. D^a. Lourdes Trujillo Castellano
Codirigida por la Dra. D^a. María Manuela González Serrano**

**Facultad de Economía, Empresa y Turismo
Departamento de Análisis Económico Aplicado**

Las Palmas de Gran Canaria

Abril de 2017

Agradecimientos

A lo largo de estos años, muchas son las personas y organismos que, de una u otra manera, han posibilitado la realización de este trabajo. A todas ellas, mi más sincero agradecimiento:

En primer lugar, agradecer al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad por la financiación recibida a través del Programa Nacional de Formación de Recursos Humanos de Investigación, en el marco del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 (BES-2011-051126). También, al Departamento de Análisis Económico Aplicado y al Grupo de Investigación en Economía de las Infraestructuras y el Transporte.

Gracias a Puertos del Estado y a la Autoridad Portuaria de Las Palmas, especialmente a Luis Domínguez Sánchez pues, sin su colaboración, parte de esta tesis no hubiese sido posible.

Agradecer a mis directoras de tesis, Lourdes Trujillo y Marianela González, la confianza depositada en mí. Gracias por su inestimable ayuda y dedicación. A Lourdes Trujillo, agradecer especialmente su perseverancia y entusiasmo. A Marianela González, gracias por hacer en muchas ocasiones de “abogada del diablo”. El camino no siempre fue fácil, gracias a las dos por las palabras de aliento.

Agradecer a Casiano Manrique de Lara mis primeros pasos en el mundo de la investigación y a Juan Luis Jiménez sus consejos y ayuda, especialmente, en la última etapa de la tesis. También, gracias a Antonio Álvarez, Alba Martínez-López y Jorge Pérez por su colaboración. Sus aportaciones han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

A mis compañeros y a mis ya amigos Ana, Ángel, Cira y Gloria, gracias por hacer más fácil el día a día.

A toda mi familia, agradecer su apoyo incondicional. Especialmente, a mis padres, a mi hermana y a Domingo. Gracias por la paciencia y la comprensión.

Por último, a aquellos que se fueron, me cuidan y siempre confiaron en mí, gracias.

Índice

Parte I. Introducción

Capítulo 1.Introducción.....	1
------------------------------	---

Parte II. Eficiencia portuaria

Capítulo 2.¿Influye la competencia portuaria en la eficiencia de los puertos de contenedores de América Latina y el Caribe?.....	7
--	---

2.1.Introducción.....	7
2.2.Sector portuario en América Latina y el Caribe	8
2.3.Estudios de eficiencia en la actividad portuaria.....	13
2.4.Eficiencia de las terminales de contenedores en ALC.....	19
2.5.Conclusiones.....	37

Capítulo 3.¿Afecta a la eficiencia portuaria la especialización y el tamaño de los puertos? Una aplicación a los puertos españoles.....	41
---	----

3.1.Introducción.....	41
3.2.Sistema Portuario Español de titularidad estatal.....	43
3.3.Literatura sobre eficiencia portuaria	45
3.4.Eficiencia en el Sistema Portuario Español	49
3.5.Conclusiones.....	64

Parte III. Generación de residuos de buques

Capítulo 4.Determinantes de la descarga de residuos procedentes de buques. El Puerto de Las Palmas como caso de estudio.	69
---	----

4.1.Introducción.....	69
4.2.Servicio de recepción de desechos generados por buques.....	71
4.3.Factores que determinan la generación de residuos de buques: hidrocarburos y basuras	78
4.4.Conclusiones.....	90

Parte IV. Referencias bibliográficas

Referencias.....	95
------------------	----

Lista de tablas

Tabla 2.1. Conectividad y calidad de la infraestructura portuaria por país	11
Tabla 2.2. Conectividad y calidad de la infraestructura portuaria en los puertos del Mercosur y otros	12
Tabla 2.3. Resumen de los estudios sobre la eficiencia en ALC	16
Tabla 2.4. Países, puertos y número de terminales de contenedores incluidas en la muestra	22
Tabla 2.5. Producción y factores productivos de las terminales de contenedores (media)	23
Tabla 2.6. Variables de ineficiencia.....	25
Tabla 2.7. Medidas descriptivas de la producción y los factores productivos por tipo de puerto	26
Tabla 2.8. Estimación de la frontera de producción estocástica	27
Tabla 2.9. Estimación de la frontera de producción estocástica. Factores de ineficiencia técnica.....	29
Tabla 2.10. Test de razón de verosimilitud.....	29
Tabla 2.11. Eficiencia media por terminal de contenedores (%).....	30
Tabla 3.1. Puertos incluidos en la muestra	52
Tabla 3.2. Medidas descriptivas del SPE (2001-2011).....	55
Tabla 3.3. Variables ambientales	56
Tabla 3.4. Variables de ineficiencia.....	57
Tabla 3.5. Estimación de la función distancia	59
Tabla 3.6. Estimación de la función distancia. Factores de ineficiencia técnica	60
Tabla 4.1. Anexos del Convenio MARPOL 73/78	72
Tabla 4.2. Acuerdos en materia de prevención de la contaminación.....	73
Tabla 4.3. Tarifa indirecta para la descarga de residuos de buques en puerto.....	77
Tabla 4.4. Variables explicativas	82
Tabla 4.5. Medidas descriptivas de las variables ^a (2014)	84
Tabla 4.6. Media aritmética de las variables según tipo de buque ^a (2014).....	85
Tabla 4.7. Estimaciones descarga de residuos de hidrocarburos	88
Tabla 4.8. Estimaciones descarga de residuos sólidos.....	89

Lista de figuras

Figura 2.1.Eficiencia técnica media por año (2000-2010).....	31
Figura 2.2.Eficiencia técnica media por país (2000-2010).....	32
Figura 2.3.Eficiencia técnica media por país (2010)	33
Figura 2.4.Eficiencia técnica media por número de terminales (2000-2010).....	34
Figura 2.5.Eficiencia técnica media por acuerdos comerciales (2000-2010)	35
Figura 2.6.Eficiencia técnica media por tipo de puerto (2000-2010)	36
Figura 2.7.Cambio tecnológico por año (%)......	37
Figura 3.1.Tráfico de mercancías del SPE (millones de toneladas)	44
Figura 3.2.Eficiencia media y tasa de crecimiento anual acumulada, 2001-2011 (%).....	61
Figura 3.3.Evolución eficiencia media del SPE por especialización (2001-2011).....	62
Figura 3.4.Eficiencia por dimensión y año	64
Figura 4.1.Evolución del volumen de residuos de hidrocarburos y sólidos retirados en el Sistema Portuario Español durante el periodo 2003-2014 (m ³)	79
Figura 4.2.Tamaño de los buques ^a y residuos descargados en el Puerto de Las Palmas (2014)	86

PARTE I

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1 Introducción

El transporte constituye un elemento fundamental para el desarrollo de un país: posibilita el crecimiento económico, la creación de riqueza y de empleo, el incremento de los intercambios comerciales, la accesibilidad geográfica y la movilidad. Esta última, tanto en el caso de personas como de mercancías, está determinada por las infraestructuras (EC, 2011).

En lo que al transporte marítimo se refiere, los puertos han pasado de ser meros intercambiadores entre modos de transporte a constituirse como centros logísticos. En la actualidad y fruto, entre otros, de la globalización, el desmantelamiento progresivo de las barreras al comercio internacional y el incremento del comercio, los puertos desarrollan otras numerosas actividades que generan valor añadido (Rúa, 2006),

El desarrollo de los puertos es fundamental para la captación de tráfico (EC, 2011). Sus ingresos vienen dados por su nivel de actividad y, por tanto, gestionar elevados volúmenes de carga representa un objetivo prioritario. El tráfico manejado en puerto y el desarrollo portuario, no depende solo de factores controlables por los gestores portuarios, sino que también está condicionado por elementos no controlables. Esto convierte a la eficiencia portuaria en una herramienta útil para detectar, entre otros, buenas prácticas o mala asignación de recursos (García-Alonso et al., 2007).

La eficiencia cobra especial interés en los países en desarrollo, dada su creciente importancia en el comercio mundial. Mientras en el año 2000 la participación de los países en desarrollo en las exportaciones e importaciones mundiales apenas alcanzaban el 30%, actualmente, superan el 40%. Estos países se han convertido en importantes agentes dentro del comercio mundial: han pasado de ser meras fuentes de abastecimiento de materias primas a impulsar el tráfico y la demanda de servicios marítimos. América se sitúa en la segunda posición, detrás de Asia, en términos de influencia regional (UNCTAD, 2015). En términos de carga, la mercancía contenerizada supone dos tercios de la carga general transportada, representa más de la mitad del valor de todo el tráfico marítimo internacional y en torno a una sexta parte de su volumen (UNCTAD, 2015).

Teniendo esto en cuenta, el primer objetivo de este estudio consiste en analizar los determinantes de la eficiencia de los principales puertos de contenedores de América Latina y el Caribe. Concretamente, se analiza si los aumentos en la eficiencia derivados de la modernización portuaria,

se mantuvieron a lo largo del tiempo y si la competencia portuaria, factor relevante para el desarrollo portuario, repercute en la eficiencia de los puertos especializados en contenedores. La competencia intraportuaria se midió a través del número de terminales de contenedores en cada puerto y la competencia interportuaria se definió a través de los acuerdos comerciales suscritos por los países. En ambos casos los resultados muestran una incidencia positiva en la eficiencia portuaria. La principal recomendación es promover y fortalecer ambos tipos de competencia.

En España, la eficiencia portuaria ocupa un puesto destacado en el decálogo de la nueva normativa portuaria (González-Laxe, 2012a). La ley premia a las autoridades portuarias preocupadas por la racionalización de la inversión en infraestructuras y el mayor aprovechamiento de los equipamientos y las instalaciones.

Algunos autores sostienen que la competencia en un entorno geográfico reducido, como la que puede existir entre algunos puertos españoles, promueve el despilfarro de recursos y sugieren la necesidad de establecer un proceso de coo-petencia, es decir, cooperar para captar tráfico de otros puertos (García-Alonso et al., 2007). En su trabajo para el Parlamento Europeo, Buck Consultants International (2009) afirma que la cooperación nace, también, como consecuencia de una mayor presión sobre la capacidad portuaria. El desarrollo del transporte marítimo de corta distancia, el incremento del tamaño de los buques y del volumen de mercancía transportada, conducen a algunos puertos a cooperar para poder satisfacer las demandas de la carga.

Igualmente, con el objeto de cumplir con los requerimientos de la carga González-Laxe (2004) sugiere la especialización de los puertos y terminales. Cada tipo de buque posee características propias que responden a la tipología de carga que transportan, lo que provoca la demanda de instalaciones y tecnologías específicas.

El segundo objetivo de este trabajo radica en estudiar si la especialización portuaria y el tamaño de los puertos españoles inciden en la ineficiencia portuaria. Como principal resultado se obtuvo que los puertos más especializados y los de mayor tamaño presentan mayores niveles de eficiencia. Por ello se recomienda fomentar la especialización y la colaboración entre puertos. En este sentido, se propone realizar una planificación transversal que favorezca la coordinación entre puertos, el desarrollo conjunto de las infraestructuras y evite duplicidad de servicios.

Según una reciente encuesta medioambiental, los desechos de los buques se encuentran entre las prioridades ambientales de los puertos (ESPO, 2016). Durante su travesía, los barcos generan residuos cuyas fuentes principales de generación son su propia maquinaria y motores, las personas que van a bordo (tripulación y/o pasajeros) y la carga transportada. Estos desechos deben mantenerse a bordo para, posteriormente, ser descargados en puerto. Por el servicio de retirada de residuos, la UE establece la obligatoriedad de abonar una tarifa y otorga libertad en su determinación. La libertad tarifaria pretende que cada puerto o país adapte la tarifa a sus costes y el principio de que el “usuario paga” busca promover la competencia leal e incidir en la distribución de los flujos de carga entre los puertos europeos (EU, 1997).

Actualmente, para determinar la tarifa indirecta, que es aquella que no depende del volumen de desechos descargados, los puertos utilizan diferentes factores, lo que evidencia que no existe un modelo óptimo para el cálculo de la tarifa del servicio de recepción de residuos de buques (Deja, 2013). Con la finalidad avanzar en esta cuestión, en este trabajo se plantea como objetivo final comprobar si los indicadores utilizados para definir las tarifas son los más apropiados. Para ello se analizó la importancia de los factores que determinan el volumen de residuos descargados de los buques en puerto, tomando como caso de estudio el Puerto de Las Palmas. A partir de datos sobre los buques que hicieron escala en este puerto en 2014, los resultados obtenidos muestran que, además del tamaño del barco, otros factores implicados en el volumen de residuos descargados en puerto están relacionados con la tecnología del buque, la carga, las personas a bordo de los buques y la ruta realizada.

En resumen, esta tesis se estructura en dos partes que se organizan de la siguiente manera. La parte I, titulada “Eficiencia portuaria” contiene dos capítulos. En el capítulo 2 se aborda la repercusión que tiene la competencia portuaria en la eficiencia de los principales puertos de contenedores de América Latina y el Caribe. El impacto que la especialización y el tamaño de los puertos tienen sobre la eficiencia portuaria de los puertos que integran el Sistema Portuario Español se desarrolla en el capítulo 3. La parte II, con el título “Generación de residuos de buques” incluye el capítulo 4, relativo a los factores que inciden en la retirada de residuos de buques en puerto.

PARTE II

EFICIENCIA PORTUARIA

Capítulo 2 ¿Influye la competencia portuaria en la eficiencia de los puertos de contenedores de América Latina y el Caribe?¹

2.1. Introducción

En 2013, el comercio de bienes de América Latina y el Caribe (ALC) representó el 36,7% del PIB y aproximadamente el 6% del comercio mundial (Banco Mundial, 2015). Con el fin de promover sus exportaciones, los países deben tener en cuenta ciertos factores entre los que se encuentran una logística eficaz y eficiente (Guasch, 2011), lo que demanda una infraestructura suficiente y de calidad, así como una adecuada gestión de las mismas y de los servicios asociados.

Desde mediados del siglo XX, el modelo portuario está experimentando cambios. La generalización de la carga contenerizada y la aparición de los buques portacontenedores trajeron consigo la transformación de la infraestructura portuaria. Sin embargo, los países de ALC no estaban preparados para responder a los nuevos requerimientos de la industria. Ni la demanda ni la oferta de infraestructura se ajustaban a las necesidades y las inversiones eran insuficientes (Perroti & Sánchez, 2011). Por consiguiente, surge un reto para los países de ALC: desarrollar puertos modernos y eficientes que, a través de la mejora de las relaciones comerciales, contribuyan al desarrollo de la región.

Teniendo en cuenta que las mejoras en el ámbito marítimo podrían perderse si sus puertos no funcionan correctamente, los puertos de ALC decidieron llevar a cabo una serie de reformas y modernizaron el sector portuario. Según Fay & Morrison (2007), en muchos casos los obstáculos al crecimiento del comercio y a la competitividad de una región se deben a deficiencias en sus infraestructuras.

En términos generales, en ALC las reformas portuarias se iniciaron en los 90. Estas resultaron en importantes modificaciones -principalmente en términos de modelo de gestión portuario, avances tecnológicos, y en cobertura y calidad de la infraestructura- y en la última década continúan generando cambios tecnológicos sustanciales. A través de las reformas, la iniciativa privada fue introducida en la industria portuaria permitiendo así la competencia inter e intraportuaria. Por un lado, el Mercado Común del Sur (Mercosur), formado en 1991, nace con el objeto de fomentar la

¹ Este capítulo está publicado en la revista *Utilities Policy*: Pérez, I., Trujillo, L. & González, M.M., 2016. Efficiency determinants of container terminals in Latin American and the Caribbean. *Utilities Policy*, 41, pp. 1-14.

libre circulación de bienes, servicios, factores de producción y personas entre los países; establecer un arancel común externo y adoptar una política comercial común con respecto a terceros países; coordinar políticas macroeconómicas y sectoriales; y armonizar las leyes para fortalecer el proceso de integración. Esta alianza comercial promovió el comercio entre algunos puertos y permitió formar un bloque competitivo. Por otro lado, el aumento de los operadores provocó la competencia por la carga, especialmente por el tráfico de transbordo.

Este estudio analiza la evolución de la eficiencia de las principales terminales de contenedores en América Latina y el Caribe y los determinantes de la misma. Concretamente, en este trabajo se persiguen dos objetivos. Por un lado, investigar si los cambios en la industria portuaria de ALC continuaron generando mejoras en la eficiencia en la última década, y averiguar si las acciones emprendidas con el objeto de aumentar la competencia inter e intraportuaria influyen en la eficiencia portuaria. El estudio se centró en 40 terminales de contenedores, incluyendo un gran número de países (19) y un largo periodo (2000-2010), y se organizó de la siguiente manera. Después de esta introducción, en la Sección 2.2 se describen las principales características del sistema portuario en ALC y sus procesos de reforma. En la Sección 2.3 se revisa la literatura relativa a la eficiencia en la actividad portuaria, prestando especial interés a los estudios realizados hasta el presente en ALC. A continuación, en la Sección 2.4 se presentan los datos, se describe la metodología aplicada para calcular la eficiencia y se exponen los resultados. Por último, en la Sección 2.5 se explican las principales conclusiones del estudio.

2.2. Sector portuario en América Latina y el Caribe

Hasta hace unas décadas, el sistema portuario de ALC se caracterizaba por tener puertos regulados y centralizados (Silva, 2008), donde el gobierno nacional era responsable de la construcción, mantenimiento, administración y funcionamiento de los mismos. El sector poseía una serie de características que no favorecían el comercio internacional, como escasa inversión, baja calidad tanto de los servicios como del equipamiento y de las instalaciones y elevadas tarifas portuarias. Según Hoffmann (2000), los puertos latinoamericanos eran ineficientes y caros lo cual se agravaba con un régimen laboral especial que, en lugar de atender a cuestiones comerciales, respondía a razones históricas y al poder sindical. En consecuencia, los gobiernos no tenían mucho interés en promover la eficiencia portuaria ya que estas infraestructuras se concebían como barreras no arancelarias a la competencia extranjera. Además, en algunos casos, representaban una fuente para conceder favores

políticos y crear empleo. Inicialmente, a pesar de la puesta en marcha de las reformas portuarias, no se incorporaron avances tecnológicos a fin de evitar despidos. Por tanto, el régimen laboral portuario no se modificó² aun cuando se extendía la contenerización y se adquirían grúas. Al mismo tiempo, la necesidad de trabajar en equipo favoreció la creación de sindicatos que poseían cierto grado de poder, dada la elevada repercusión que sus actuaciones tenían sobre la actividad comercial.

En general, las reformas se sucedieron de la siguiente manera: reforma legal, descentralización, liberalización, participación privada y re-regulación. En América Latina, el 97,5% de los proyectos de privatización del transporte se materializaron en contratos de concesión. Según Estache & Trujillo (2004, 2008), la participación privada provocó mejoras tecnológicas, productivas y en la calidad de los servicios. Concretamente, la rentabilidad se incrementó en más del 40% en países como México, Argentina o Perú. Las ganancias de eficiencia fueron compartidas por el gobierno y las empresas, perjudicando a los usuarios. La política de precios máximos ocasionó un aumento de los costes de capital y los aranceles. La experiencia latinoamericana demostró que la privatización, por sí sola, produce pocos beneficios a la economía. No obstante, se incentivaron la participación privada y la modernización portuaria. En los 90, los valores de las inversiones realizadas llegaron a representar el total de las ejecutadas en las cuatro décadas anteriores (Hoffmann, 2000).

La privatización contribuyó a continuar con la tendencia mundial de implantar un nuevo modelo de puerto -el denominado *Landlord port*- en el que la propiedad se mantiene en el sector público y el sector privado proporciona servicios a través de concesiones, favoreciendo la liberalización de los servicios y la re-regulación en aquellos casos que fuera estrictamente necesaria (por ejemplo, servicios que presentaran características de monopolio natural). Por otra parte, se animó la modernización tanto de la infraestructura como de la superestructura y se pasó de una gestión orientada a satisfacer intereses sociales y políticos a una dirigida hacia la obtención de beneficios económicos. Hoffmann (2000) observó que la realización de reformas en el sector no implicaba, necesariamente, la alteración del régimen laboral. Sin embargo, esto podía suponer un obstáculo para la inversión privada y, por consiguiente, para el establecimiento de los nuevos modelos portuarios. Países como Chile o Panamá, a diferencia de Brasil, supieron involucrar a los representantes de los trabajadores en el proceso de reforma, favoreciendo así las transformaciones de la industria.

² Por ejemplo, se continuaba empleando 20 trabajadores para descargar un portacontenedor cuando, en general, solo se requerían 6 estibadores (Hoffmann, 2000).

Las primeras reformas portuarias tuvieron lugar en Chile (1981), Colombia y Venezuela (1991), Argentina, México y Uruguay (1992), Brasil (1993) y Panamá (1994). Más de una década después y atendiendo al proceso de reformas, Sánchez (2004) estableció una clasificación de los países de la región dividida en cuatro grupos: 1) Países con participación privada en los principales puertos, 2) Países que se encuentran avanzando hacia el primer grupo, 3) Países con participación privada parcial y 4) Países con puertos públicos. El primer grupo estaba integrado por países en los que se habían producido elevadas inversiones y aumentos en términos de eficiencia (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, México, Panamá, Paraguay y Uruguay). Los países que formaban parte del segundo grupo se encontraban realizando cambios estructurales, siguiendo la experiencia de los primeros (Costa Rica, Ecuador y El Salvador, entre otros). El tercer grupo mantenía la gestión y la planificación en manos del sector público. Sin embargo, impulsaron reformas en el ámbito laboral que favorecieron la incorporación de empresas privadas, como las estibadoras. En el cuarto grupo se situaban los países que no habían acometido reforma portuaria.

Aunque no se cuantificaron las ganancias netas de estas reformas, en términos generales se puede afirmar que fueron positivas ya que propiciaron una mayor competencia inter e intraportuaria como resultado del aumento del número de operadores. Con la introducción de la iniciativa privada, puertos como Buenos Aires y Santos ampliaron el número de terminales: Santos a dos y Buenos Aires a siete, aunque en Buenos Aires actualmente están operativas cinco. También, aumentó tanto la competitividad de las regiones como el tráfico portuario, al tiempo que se produjo una reducción de los precios de operación y una mejora del rendimiento (tiempo y calidad de los servicios). Sin embargo, quedaron cuestiones por resolver, como la mejora de los accesos y las conexiones con el transporte intermodal, la preservación del medio ambiente, la normativa y los procedimientos aduaneros (Sánchez, 2004).

En la actualidad, la industria portuaria de ALC ha crecido en términos de contenedores manipulados y presenta una estructura radial, alrededor de un centro principal. Su tráfico se ha movido desde la costa este hacia la costa oeste de Centroamérica y se ha dispersado geográficamente como consecuencia de la creación de puertos secundarios (CEPAL, 2014).

La Tabla 2.1 proporciona algunas características de los puertos de ALC como la conectividad³ y la calidad⁴ de la infraestructura portuaria. Aunque son indicadores agregados para cada país, de alguna manera, permiten conocer la realidad del sistema portuario de ALC. En 2014, a pesar de la baja conectividad (26,91) que poseen en comparación con los países que lideran el ranking -China (165), Hong Kong (116), Singapur (113) y Corea (108)-, el índice ha crecido a una tasa anual acumulada del 5% en diez años. Los puertos que están mejor conectados se encuentran en Panamá (41,09), México (36,35) y Jamaica (33,09).

En ALC, la calidad de la infraestructura portuaria ha mejorado. El índice, cuyo valor máximo es siete, creció de 3,45 a 4,18 en nueve años. En 2014, los puertos que destacan en calidad de la infraestructura están situados en países como Panamá (6,00), Chile (5,50), Puerto Rico (5,40), Jamaica y Honduras (5,30) o Uruguay (5,20). En general, los puertos del Caribe se encuentran menos conectados, pero tienen una mejor calidad de infraestructura. Los puertos de Panamá son los mejores en calidad y conectividad. Los puertos de Costa Rica se sitúan en el lado opuesto. En Guatemala y Perú los puertos han incrementado de manera significativa la calidad de su infraestructura y la conectividad marítima.

Tabla 2.1. Conectividad y calidad de la infraestructura portuaria por país

Región	País	Índice nacional de conectividad portuaria		Índice nacional de calidad de la infraestructura portuaria	
		2004	2014	2005	2014
Caribe	Bahamas	17,49	25,71	ND	ND
	Cuba	6,78	6,57	ND	ND
	Jamaica	21,32	33,09	4,88	5,30
	Puerto Rico	ND	ND	ND	5,40
	República Dominicana	12,45	22,25	3,30	4,30
	Trinidad y Tobago	13,18	15,76	3,46	4,30
	Media	14,24	20,68	3,88	4,83
Centroamérica	Costa Rica	12,59	12,77	2,36	2,70
	Guatemala	1,28	13,33	2,62	4,50
	Honduras	9,11	9,09	3,85	5,30
	México	25,29	36,35	3,29	3,70
	Panamá	32,05	41,09	5,08	6,00
	Media	16,06	22,53	3,44	4,44

(continúa)

³ Desde 2004, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) ha construido el índice de conectividad marítima a partir de cinco componentes: el número de buques, la capacidad de estos para el transporte de contenedores, su tamaño máximo y el número de empresas navieras con servicios de contenedores desde y hacia los puertos de un país.

⁴ El índice de calidad de la infraestructura se elabora a través de las encuestas llevadas a cabo por el Foro Económico Mundial (FEM). Los ejecutivos evalúan las instalaciones portuarias de su país, clasificándolas entre 1 (no muy desarrolladas) y 7 (bien desarrolladas y eficientes para los estándares internacionales).

Región	País	Índice nacional de conectividad portuaria		Índice nacional de calidad de la infraestructura portuaria	
		2004	2014	2005	2014
Sudamérica	Argentina	20,09	27,61	3,62	3,80
	Brasil	25,83	31,65	2,80	2,90
	Chile	15,48	22,05	4,85	5,50
	Colombia	18,61	26,13	2,89	3,50
	Ecuador	11,84	18,73	2,89	3,70
	Perú	14,79	21,79	2,21	3,30
	Uruguay	16,44	24,46	4,20	5,20
	Venezuela	18,22	18,61	2,91	2,40
	Media	17,66	23,88	3,30	3,79
ALC	Media	16,27	26,91	3,45	4,18

^aPara simplificar, México se incluyó en Centroamérica; ND: No disponible.

Fuente: Elaboración propia. UNCTAD y WEF.

Algunos de los países incluidos en el análisis (Argentina, Brasil, Ecuador,⁵ Uruguay y Venezuela) forman parte del Mercado Común del Sur (Mercosur). Su objetivo como bloque comercial es fomentar la libre circulación de bienes, servicios, factores de producción y personas entre los países; el establecimiento de un arancel externo común y la adopción de una política comercial común con relación a terceros; la coordinación de las políticas macroeconómicas y políticas sectoriales; y el compromiso de armonizar las leyes para fortalecer el proceso de integración. La Tabla 2.2 muestra las diferencias entre los países del Mercosur y otros países en relación con la conectividad del puerto y de la calidad de la infraestructura portuaria. Los puertos del Mercosur tienen una mayor conectividad, mientras que los países no incluidos en el Mercosur tienen, ligeramente, un mejor índice de percepción de la calidad de la infraestructura portuaria.

Tabla 2.2. Conectividad y calidad de la infraestructura portuaria en los puertos del Mercosur y otros

Variable	Índice nacional de conectividad portuaria		Índice nacional de calidad de la infraestructura portuaria	
	2004	2014	2005	2014
Mercosur	20,15	33,58	3,38	3,43
No Mercosur	15,16	25,00	3,47	4,43

Fuente: Elaboración propia. UNCTAD and WEF.

⁵ Miembro asociado.

2.3. Estudios de eficiencia en la actividad portuaria

Si bien el análisis de las infraestructuras portuarias desde una perspectiva económica comenzó en los años 60, los primeros estudios sobre eficiencia en esta industria datan de los 90.⁶ Los trabajos que se centran en la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores son aún más recientes.

El indicador de la producción más relevante y ampliamente aceptado en las terminales de contenedores es el movimiento de contenedores medido en TEUs⁷ (Cullinane et al., 2002; Turner et al., 2004; Cullinane et al., 2005a; Cullinane et al., 2005b.; Tongzon & Heng, 2005; Cullinane & Song, 2006; Cullinane et al., 2006; Herrera & Pang, 2008; Cheon, 2009; Sohn & Jung, 2009; Cheon et al., 2010; Wu & Goh, 2010; Bichou, 2011; Yip et al., 2011; Bichou, 2013; Wilmsmeier et al., 2013; Yuen et al., 2013).

Una terminal portuaria requiere un uso eficiente de los recursos productivos: capital, tierra y mano de obra (Dowd & Leschine, 1990). En relación con el capital y la tierra, las variables más utilizadas han sido la longitud de muelle, el área de la terminal y el equipo mecánico, principalmente número de grúas (Cheon et al., 2010; Bichou, 2011; Yip et al., 2011; Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012; Yuen et al., 2013). Por supuesto, no solo ha sido de interés el número de grúas sino también su capacidad, ya sea medida en toneladas (Cheon et al., 2010) o a través de un índice (Bichou, 2011).

El factor trabajo resulta difícil de evaluar debido a las diferencias existentes entre los diferentes países, en lo que a normas de contabilidad y contexto político se refiere (Cullinane & Khanna, 1999). La mano de obra se ha medido a través del número medio anual de trabajadores en los estudios sobre las autoridades portuarias (Estache et al., 2002; Estache et al., 2004; Barros, 2005; González & Trujillo, 2008; Medal-Bartual & Sala-Garrido, 2011; Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012). A nivel de terminal, por tanto, el número de empleados es más difícil de obtener, aunque algunas investigaciones lo han incluido (Cullinane & Song, 2003; Ríos & Macada, 2006; Rodríguez-Álvarez et al., 2007; Wilmsmeier et al., 2013; Chang & Tovar, 2014a, 2014b). Sin embargo, es frecuente en la literatura que el número de trabajadores se aproxime mediante el número de grúas o el equipo total en las terminales, debido a la relación fija que existe entre ambas variables (De Neufville & Tsunokawa, 1981; Noteboom et al., 2000; Cullinane et al., 2004; Cullinane et al., 2005a; Cullinane et

⁶ Véase González y Trujillo (2009) para la medición de la eficiencia en la industria portuaria.

⁷ *Twenty-foot Equivalent Units*, en español, unidad equivalente a veinte pies.

al., 2005b.; Tongzon & Heng, 2005; Cullinane & Song, 2006; So et al., 2007; Cheon et al., 2010; Yuen et al., 2013; Trujillo et al., 2013). Sin embargo, Cullinane et al. (2004) indican que esta relación puede verse afectada por varios factores, incluyendo los tecnológicos.

Algunos autores también introducen factores que son externos al proceso de producción (variables ambientales) y factores que afectan a la ineficiencia. Las variables ambientales son aquellas que influyen en una mayor o menor producción, pero no son controlables, al menos en el corto plazo, por su organización, tales como la privatización o la localización (González & Trujillo, 2008). Tongzon y Heng (2005) señalaron que la participación del sector privado en la industria portuaria podría mejorar la eficiencia de las operaciones portuarias. Del mismo modo, añadieron que la privatización es una estrategia para obtener una ventaja competitiva en el mercado actual. En general, los cambios en la regulación tienen efectos positivos inducidos en algunas actividades a través de mejoras en la eficiencia (González & Trujillo, 2009), incluso en los puertos de los países en desarrollo como los de África (Trujillo et al., 2013). A pesar de ello, Clark et al. (2004) recalcan que una excesiva regulación podría ser perjudicial. Es conveniente, pues, identificar la relación entre la forma de propiedad y la eficiencia portuaria (Tongzon & Heng, 2005; Sohn & Jung, 2009; Yuen et al., 2013). A pesar de que en términos generales no existe resultados concluyentes sobre esta relación, cuando se trata de terminales de contenedores, la mayoría de los estudios concluyen que la participación privada en el sector portuario mejora la eficiencia (González & Trujillo, 2009).

Como se comentó anteriormente, desde 1990, la investigación sobre la eficiencia portuaria ha sido numerosa, sin embargo, los estudios centrados en los países de ALC han sido proporcionalmente menores. Destacar que existe un interés en evaluar los efectos de los cambios regulatorios introducidos en la industria portuaria en ALC. Por ejemplo, Estache et al. (2002) mostraron que después de la reforma (1993), los puertos mexicanos lograron beneficios en términos de eficiencia (2,8% -3,3%). López & Moscoso (2005) estudiaron el efecto de la regulación en Colombia y llegaron a la conclusión de que la excesiva regulación del sector repercutió negativamente en el comercio y señalaron que este podría ser estimulado a través de una reducción de la estancia de la carga en los puertos y de los costes asociados. Doerr & Sánchez (2006) proponen una serie de índices de productividad y eficiencia, con el objetivo de analizar el efecto de las reformas portuarias emprendidas en algunos países de la región (Argentina, Chile, Colombia, El Salvador, Trinidad y Tobago y México). Estos índices permitirían a los gobiernos, organismos reguladores y operadores evaluar y diseñar políticas orientadas a mejorar la productividad.

Ríos & Macada (2005) analizaron la eficiencia relativa de las operaciones en las terminales de contenedores del Mercosur en el período 2002-2004. Utilizando la técnica de Análisis Envolvente de Datos (DEA), mostraron que el 60% de las terminales fueron eficientes. Wanke et al. (2011) y Wanke (2013) analizaron los factores que influyen en la eficiencia de los puertos en Brasil. Concretamente, Wanke et al. (2011) observaron que las terminales administradas por el sector privado fueron más eficientes que las controladas por el gobierno. Además, concluyeron que la mayoría de las terminales presentaron rendimientos crecientes a escala. Wanke (2013) identificó varios factores potenciales de eficiencia: la presencia de una administración portuaria privada, la existencia de ríos y de accesos por ferrocarril, el *hinterland* del puerto, el número de accesos por carretera y de canales de acceso y la diversidad de carga. Empleando la técnica DEA, Wilmsmeier et al. (2013) estudiaron la evolución de la productividad y la eficiencia de 20 terminales de contenedores (16 ubicadas en 9 países de América Latina y 4 en España) durante el periodo 2005-2011. Los resultados muestran que tras las significativas pérdidas de productividad y de eficiencia, como consecuencia de la crisis económica, se produce una recuperación. Chang & Tovar (2014a, 2014b) midieron la eficiencia técnica de 14 terminales de contenedores en Chile y Perú llegando a la conclusión de que, en promedio, las terminales chilenas fueron más eficientes que las peruanas. Chang & Tovar (2014b) muestran que la crisis mundial afectó a la productividad en ambos países, pero con un mayor impacto en los terminales de Chile. Chang & Tovar (2014a) demostraron que la tasa de graneles, el índice de contenerización, la tasa de ocupación, y el tipo de gestión son factores relacionados con la ineficiencia. Recientemente, Morales-Sarriera et al. (2013) y Serebrisky et al. (2016) han estudiado la eficiencia técnica de 67 y 63 puertos de contenedores, respectivamente, en ALC para el período 1999-2009. Los autores señalan que las terminales especializadas y las ubicadas en los países con un mayor PIB per cápita mejoraron su eficiencia a lo largo del periodo. La Tabla 2.3 muestra un resumen de los estudios sobre la eficiencia en ALC.

Tabla 2.3. Resumen de los estudios sobre la eficiencia en ALC

Autores (año)	País Periodo	Unidad de análisis (n°) Modelo (forma funcional)	Producción	Factores productivos	Otras variables
Estache, González, & Trujillo (2002)	México 1996-1999	Autoridad Portuaria Integral (13) SFA (CD)	Carga total (t)	Muelles (m) Trabajadores (n°)	Tendencia temporal
Ríos & Macada (2006)	Mercosur 2002-2004	Terminal (23) DEA	Contenedores (TEUs) Contenedores manejados por hora y buque (media)	Muelles (n°) Área (m ²) Grúas (n°) Trabajadores (n°) Equipamiento de patio (n°)	
Wanke, Barbastefano & Hijjar (2011)	Brasil 2008	Terminal (25) DEA, SFA (CD) y Tobit	Carga total (t) Buques cargados (n°)	Muelles (n°) Área (m ²) Aparcamientos (n°)	Tobit Carga a granel (<i>dummy</i>) Tipo de terminal (<i>dummy</i>) Programación de camiones (%)
Morales-Sarriera, Araya, Serebrisky, Briceño-Garmendía & Schwartz (2013)	LAC 1999-2009	Puerto de contenedores (67) SFA (TL)	Contenedores (TEUs)	Muelles (m) Área (m ²) Grúas móviles de muelle (n°) Grúas STS (n°) Grúas de barco (<i>dummy</i>)	Tendencia temporal Variables ambientales Transbordo (<i>dummy</i>) Tipo de terminal (<i>dummy</i>) PIB (US\$) Índice de conectividad (n°) Comercio (%) Crisis (<i>dummy</i>) Variables de ineficiencia <i>Landlord</i> (<i>dummy</i>) Índice de corrupción (n°) Tipo de terminal (<i>dummy</i>) PIB per cápita (US\$)) Sudamérica (<i>dummy</i>) Transbordo (<i>dummy</i>) Tendencia temporal

(continúa)

Autores (año)	País Periodo	Unidad de análisis (n°) Modelo (forma funcional)	Producción	Factores productivos	Otras variables
Wanke (2013)	Brasil 2011	Terminal (27) DEA (dos etapas)	Granel sólido (t) Contenedores (TEUs) Frecuencia buques de granel sólido (buques/año)* Frecuencia buques de contenedores (buques/año)*	Muelles (n°) Área de almacenamiento (m ²) Área de patio (m ²)	VARIABLES AMBIENTALES Administración privada (<i>dummy</i>) <i>Hinterland</i> (km ²) Accesos por carretera (n°) Accesos por río (<i>dummy</i>) Accesos por ferrocarril (<i>dummy</i>) Canales de acceso (n°) Manejo de contenedores y granel sólido (<i>dummy</i>)
Wilmsmeier, Tovar, & Sanchez (2013)	LAC y España 2005-2011	Terminal (20) DEA	Contenedores (TEUs)	Área (m ²) Capacidad equivalente de las grúas de muelle Trabajadores (n°)	Tendencia temporal
Chang & Tovar (2014a)	Perú y Chile 2004-2010	Terminal (14) SFA (TL)	Contenedores (t) Carga general y rodante (t) Graneles (t)	Trabajadores (n°) Stock neto de los activos fijos (MUS\$)	VARIABLES AMBIENTALES Terminales (<i>dummy</i>) VARIABLES DE INEFICIENCIA Proporción de graneles (n°) Índice de contenerización (n°) Tasa de ocupación (n°) Tipo de gestión (<i>dummy</i>)
Chang & Tovar (2014b)	Perú y Chile 2004-2010	Terminal (14) SFA (TL)	Contenedores (t) Carga general y rodante (t) Graneles (t)	Muelles (n°) Medios mecánicos (n°) Trabajadores (n°) Stock neto de los activos fijos (US\$)	Tendencia temporal

(continúa)

Autores (año)	País Periodo	Unidad de análisis (n°) Modelo (forma funcional)	Producción	Factores productivos	Otras variables
Serebrisky, Morales-Sarriera, Suárez-Alemán, Araya, Briceño-Garmendía, & Schwartz (2016)	LAC 1999-2009	Puerto de contenedores (63) SFA (TL)	Contenedores (TEUs)	Área (m ²) Muelles (m) Grúas móviles de muelle (n°) Grúas STS (n°) Grúas de barco (<i>dummy</i>)	Tendencia temporal Variables ambientales Transbordo (<i>dummy</i>) Tipo de terminal (<i>dummy</i>) PIB (US\$) Índice de conectividad (n°) Comercio (%) Crisis (<i>dummy</i>) Variables de ineficiencia <i>Landlord</i> (<i>dummy</i>) Índice de corrupción (n°) Tipo de terminal (<i>dummy</i>) PIB per cápita (US\$)) Sudamérica (<i>dummy</i>) Transbordo (<i>dummy</i>) Tendencia temporal

* Como el DEA se realiza en dos etapas, estas variables pueden figurar como *inputs* intermedios y como *outputs* en función de la etapa en que se utilicen.

DEA: Análisis Envolvente de Datos; SFA: Análisis de Frontera Estocástica; CD: Función Cobb-Douglas; TL: Función Translog.

kt: kilotoneladas; m: metros; mt: miles de toneladas; MUS\$: millón de dólares; n: número; m²: metros cuadrados; km²: kilómetros cuadrados; t: toneladas; US\$: dólares.

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Eficiencia de las terminales de contenedores en ALC

2.4.1. Modelo teórico

La frontera de producción muestra la máxima cantidad de producción que se puede obtener dada una determinada combinación de recursos. Permite estudiar la eficiencia desde una perspectiva real, ya que cada empresa es evaluada en relación a otras pertenecientes a un grupo representativo y homogéneo (Farrel, 1957). Concretamente, la eficiencia de una determinada empresa corresponde a la diferencia observada entre su comportamiento real y su comportamiento teórico. Este último viene definido por las prácticas de las mejores empresas de la muestra, que son las que conforman la frontera.

Existen varios enfoques para estudiar la eficiencia. En este estudio, se aplica la metodología desarrollada por Battese & Coelli (1995) para una frontera de producción estocástica. La forma funcional para datos de panel se concreta en la siguiente expresión:

$$Y_{it} = X_{it}\beta + v_{it} - u_{it}$$

$$i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T \quad (2.1)$$

Donde Y_{it} representa la producción de la empresa i para el periodo t ; X_{it} alude a los factores productivos de la empresa i para el periodo t ; β es un vector de parámetros desconocidos; v_{it} corresponde al error aleatorio que se supone independiente e idénticamente distribuida (*iid*) como una $N(0, \sigma_v^2)$ y se distribuye independientemente de u_{it} , variable no negativa aleatoria asociada a la ineficiencia técnica. Esta última se asume *iid* $N^+(\mu_{it}, \sigma_u^2)$ donde “+” indica truncamiento en cero y su media se define de la siguiente manera:

$$\mu_{it} = z_{it} \delta \quad (2.2)$$

El parámetro z_{it} es un vector de variables que pueden influir en la eficiencia de una empresa; δ corresponde a un vector de parámetros a estimar. El modelo emplea el método de máxima verosimilitud para estimar simultáneamente los parámetros tanto del modelo de frontera estocástica como del de efectos de ineficiencia técnica.

La eficiencia técnica se obtiene de la relación entre el producto observado para la empresa i en el periodo t y el producto potencial; este último se define por la función de frontera, dado el vector de entradas:

$$TE_{it} = Y_{it}/\exp(X_{it}\beta + v_{it}) = \exp(X_{it}\beta + v_{it} - u_{it})/\exp(X_{it}\beta + v_{it}) = \exp(-u_{it}) \quad (2.3)$$

A partir de la función de producción se pueden calcular la productividad marginal, los rendimientos a escala y la sustituibilidad entre los recursos productivos.

La productividad marginal de un recurso a corto plazo se define como la cantidad en que la producción varía cuando dicho recurso empleado aumenta en una unidad adicional. Si todas las productividades marginales son positivas entonces la tecnología es monótona. La productividad marginal de los recursos se concreta como sigue:

$$PMa(X_{it}) = \partial Y_{it}/\partial X_{it} \quad (2.4)$$

Los rendimientos a escala aluden a cómo varía la producción cuando todos los recursos empleados aumentan en la misma proporción. Existen tres tipos de rendimientos a escala: rendimientos crecientes a escala (2.5), rendimientos constantes a escala (2.6) y rendimientos decrecientes a escala (2.7):

$$f(\lambda X_{it}) < \lambda f(X_{it}), \forall \lambda \geq 0 \quad (2.5)$$

$$f(\lambda X_{it}) = \lambda f(X_{it}), \forall \lambda \geq 0 \quad (2.6)$$

$$f(\lambda X_{it}) > \lambda f(X_{it}), \forall \lambda \geq 0 \quad (2.7)$$

La sustituibilidad entre los recursos es la posibilidad de producir una determinada cantidad de producción sustituyendo unos recursos por otros. Surge, así, la elasticidad de sustitución, la cual se puede expresar de la siguiente manera (Hicks, 1932):

$$\sigma = \partial \ln(X_2/X_1)/\partial \ln(f(X_2)/f(X_1)) \quad (2.8)$$

2.4.2. Modelo empírico

2.4.2.1. Datos

Las terminales de contenedores se pueden clasificar en dos categorías: las terminales que manejan solamente contenedores (terminales especializadas) y las que manejan contenedores y carga general (terminales multipropósito). En ALC, según los expertos consultados⁸ una terminal de contenedores pura puede manejar más de 200.000 TEUs al año. Las terminales incluidas en este estudio están especializadas en el tráfico de contenedores; es decir, manejan más de 200.000 TEUs al año. Sin embargo, se incluyeron terminales que movieron una cantidad inferior en un año determinado, pero con un promedio de carga del período de estudio superior a 200.000 TEUs. Por tanto, las terminales multipropósito no están incluidas en este estudio.

Inicialmente, el objetivo de esta investigación era analizar la eficiencia de las principales terminales de contenedores en ALC. Para disponer de la información necesaria, se envió un cuestionario a las autoridades portuarias y gerentes de las terminales de contenedores, pero la tasa de respuesta fue baja. Por esta razón, se consultó el *Containerisation International Yearbook* (CIY), siguiendo a Figueiredo & Cariou (2015), Bichou (2013), Yuen et al. (2013), Yip et al. (2011), Cheon et al. (2010), Wu & Goh (2010), Sohn et al. (2009) y Cullinane et al. (2006). En esta fuente de información secundaria, la producción de contenedores figura por puerto, por lo que los recursos productivos de las terminales de contenedores tuvieron que ser agregados por puerto. En adelante, el término "terminal de contenedores" se utilizará para referirse al conjunto de todas las terminales de contenedores de cada puerto. Por lo tanto, la base de datos se compone de 40 terminales de contenedores (ver Tabla 2.4), que mueven alrededor del 90% de las mercancías transportadas en contenedores en ALC. En América del Sur se encuentran 21 de las terminales de contenedores estudiadas, 12 en Centroamérica y 7 en el Caribe; 18 de ellas se encuentran en el Mar Caribe, 11 en el Pacífico y las 11 restantes se encuentran en el Océano Atlántico.

⁸ Incluyendo investigadores y directores de terminales de contenedores.

Tabla 2.4. Países, puertos y número de terminales de contenedores incluidas en la muestra

País	Puerto	Terminales ^a (n°)	País	Puerto	Terminales ^a (n°)
Argentina	Buenos Aires	3	Ecuador	Guayaquil	1
Bahamas	Freeport	1	Guatemala	Puerto Quetzal	1
Brasil	Itajaí	2		Santo Tomás de Castilla	1
	Paranaguá	1	Honduras	Puerto Cortés	1
	Río de Janeiro	2	Jamaica	Kingston	2
	Rio Grande	1	México	Altamira	2
	Salvador	1		Lázaro Cárdenas	2
	Santos	4		Manzanillo	3
	Sepeitiba	1		Veracruz	1
	Suape	1	Panamá	Balboa	1
	Vitória	1		Coco Solo	1
Chile	Iquique	3		Cristóbal	1
	Lirquén	1		Puerto Manzanillo	1
	San Antonio	2	Perú	Callao	1
	San Vicente	1	Puerto Rico	San Juan	2
	Valparaíso	1	República Dominicana	Caucedo	1
Colombia	Buenaventura	1		Rio Haina	2
	Cartagena	1	Trinidad y Tobago	Port of Spain	1
Costa Rica	Puerto Limón	1	Uruguay	Montevideo	2
Cuba	Habana	1	Venezuela	Puerto Cabello	2

^a Número de terminales en el último año de estudio.

Fuente: Elaboración propia. CIY.

Teniendo en cuenta los estudios previos sobre el sector portuario, las siguientes variables han permitido caracterizar la industria portuaria de contenedores en ALC. La producción de las terminales se ha aproximado en términos de contenedores manipulados medidos en TEUs, porque solo se considera el tráfico especializado de contenedores (Tongzon & Chen, 2005; Herrera & Pang, 2006; Cullinane & Song, 2006; Sohn y Jung, 2009; Cheon, 2009; Wu & Goh, 2010; Yip et al., 2011; Yuen et al., 2013; Bichou, 2013). En su estudio sobre terminales de contenedores, Wilmsmeier et al. (2013) explican que es posible que una terminal especializada maneje algo de carga general, pero el porcentaje es normalmente tan bajo que resulta insignificante para nuestros propósitos.

Como factores productivos se utilizaron las siguientes variables: (1) muelles expresados en metros, para determinar la capacidad de un puerto para recibir buques; (2) capacidad de almacenamiento de las terminales medida en TEU; y (3) número de grúas disponible para cargar y descargar contenedores. La información relativa al factor trabajo no es fácil de conseguir. Dada la estrecha relación entre el número de trabajadores y el número de grúas, se empleó este último factor como una aproximación coherente, como se propone en varias investigaciones previas (De Neufville & Tsunokawa, 1981; Noteboom et al., 2000; Cullinane et al, 2004; Cullinane et al, 2005a; Cullinane et

al, 2005b; Tongzon & Heng, 2005; Cullinane & Song, 2006; So et al., 2007; Cheon et al., 2010; Yuen et al., 2013). Todas estas variables se obtuvieron de fuentes secundarias, incluyendo el *Containerisation International Yearbook*, el Banco Mundial, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Autoridad Portuaria de Panamá.

Para el período 2000-2010, la producción de las terminales de contenedores⁹ aumentó en un 6% hasta alcanzar en 2010 838.648 TEUs, en promedio (véase Tabla 2.5). Este aumento del tráfico de contenedores fue acompañado por un incremento en los factores de producción. La longitud de los muelles de las terminales de contenedores de ALC aumentó un 1%, el almacenamiento en un 7% y las grúas de contenedores en un 4%.

En promedio, Santos manejó la mayor parte de la carga (1.807.475 TEUs), seguido de San Juan (1.681.610 TEUs), Kingston (1.513.564 TEUs), Puerto Manzanillo (1.299.256 TEUs), Balboa (1.208.325 TEUs) y Buenos Aires (1.187.247 TEUs). Movieron mucha menos carga Lirquén e Iquique (211.442 TEUs y 250.899 TEUs, respectivamente), Vitória (221.614 TEUs), Salvador (228.190 TEUs), Sepetiba (240.518 TEUs) y Puerto Quetzal (242.966 TEUs).

Mientras Santos, Kingston, Puerto Manzanillo y Buenos Aires poseen la mayor longitud de muelle, capacidad de almacenamiento y el mayor número de grúas de contenedores; las terminales con menor infraestructura son Lirquén, Puerto Quetzal, Salvador, Vitória, y Puerto Limón. Sin embargo, el manejo de contenedores de Puerto Limón es superior a la media (674.500 TEUs).

Tabla 2.5. Producción y factores productivos de las terminales de contenedores (media)

Terminal de contenedores	Producción (TEUs)	Muelles (metros)	Almacenamiento (TEUs)	Grúas (número)
Altamira	321.093	1.107	32.188	5
Balboa	1.208.325	1.325	5.950	5
Buenaventura	526.425	721	10.856	5
Buenos Aires	1.187.247	4.323	27.902	20
Callao	813.157	4.000	3.700	1
Cartagena	788.334	1.703	13.972	5
Caucedo	612.419	600	18.800	5
Coco Solo	442.917	612	5.850	5
Cristóbal	364.975	1.000	3.267	7
Freeport	1.133.911	1.002	22.079	8

(continúa)

⁹ En adelante, se hará referencia a las terminales de contenedores con el nombre del puerto en el que se encuentran ubicadas.

Terminal de contenedores	Producción (TEUs)	Muelles (metros)	Almacenamiento (TEUs)	Grúas (número)
Guayaquil	599.118	1.512	6.055	4
Habana	262.241	413	4.106	5
Iquique	250.899	3.541	7.856	8
Itajaí	491.231	944	5.422	3
Kingston	1.513.564	3.514	46.275	18
Lázaro Cárdenas	545.627	886	45.008	7
Lirquén	211.442	429	5.253	3
Manzanillo	966.069	1.850	12.455	6
Montevideo	467.858	612	12.491	5
Paranaguá	414.329	591	13.713	4
Port of Spain	338.878	886	3.436	11
Puerto Cabello	679.526	5.353	8.000	11
Puerto Cortes	457.894	999	3.700	7
Puerto Limón	674.500	358	1.215	2
Puerto Manzanillo	1.299.256	1.576	33.182	12
Puerto Quetzal	242.966	400	1.974	2
Río de Janeiro	332.725	1.079	20.436	7
Rio Grande	507.684	600	15.000	5
Rio Haina	349.656	1.216	4.200	3
Salvador	228.190	238	2.200	5
San Antonio	619.502	1.092	13.568	7
San Juan	1.681.610	1.659	6.200	6
San Vicente	365.561	603	8.000	2
Santo Tomás de Castilla	326.376	915	7.500	5
Santos	1.807.475	2.429	32.520	17
Sepetiba	240.518	810	15.000	4
Suape	263.215	660	17.045	4
Valparaíso	496.470	1.056	10.545	5
Veracruz	615.547	510	35.000	6
Vitória	221.614	450	4.800	4
Media	665.712	1.412	13.853	7

Fuente: Elaboración propia. CIY.

Para capturar la heterogeneidad no observada, se incluyó la variable puerto como una *dummy* que toma el valor 1 para el puerto en cuestión y 0 para el resto de puertos.

Las reformas portuarias en ALC propiciaron, entre otros, la entrada del sector privado en las actividades portuarias. La introducción de la iniciativa privada promovió la competencia inter e intraportuaria. En cuanto a la competencia interportuaria, la mejora de la infraestructura favorece la captación de tráfico de transbordo y la atracción de grandes líneas navieras (Lam & Yap, 2008), lo que para Cullinane et al. (2002) tiene un efecto positivo sobre la eficiencia portuaria. Los acuerdos comerciales permiten el acceso a nuevas rutas y, por tanto, a un mayor flujo de bienes (CEPAL, 2007). Con respecto a la competencia intraportuaria, la entrada de operadores aumenta el nivel de competencia en el puerto, lo que repercute positivamente en los niveles de eficiencia.

Con el fin de evaluar cómo estas cuestiones afectan a la eficiencia en ALC, se incluyeron las variables descritas en la Tabla 2.6. "Terminales" es una variable *dummy* que toma el valor 1 si la terminal se encuentra en un puerto con 3 o más terminales de contenedores (Buenos Aires, Iquique, Manzanillo y Santos) y 0 en caso contrario. "Acuerdos comerciales" es otra variable *dummy* con valor 1 si la terminal de contenedores se encuentra en un país del Mercosur (Argentina, Brasil, Ecuador, Uruguay y Venezuela) y 0 en caso contrario. "Transbordo" es también una variable *dummy* que toma el valor 1 si la terminal se encuentra en un puerto de transbordo (Balboa, Coco-Solo, Cristóbal, Freeport, Kingston, Lázaro Cárdenas y Puerto de Manzanillo) y 0 en caso contrario.

Tabla 2.6. Variables de ineficiencia

Variable	Tipo	Descripción
Terminales	<i>Dummy</i>	1 si la terminal está localizada en un puerto con 3 o más terminales especializadas 0 en caso contrario
Acuerdos comerciales	<i>Dummy</i>	1 si la terminal está localizada en puertos del Mercosur 0 en caso contrario
Transbordo	<i>Dummy</i>	1 si la terminal está localizada en puertos de transbordo 0 en caso contrario

Fuente: Elaboración propia.

Según la CEPAL (2014), un puerto de ALC puede ser clasificado como un puerto de transbordo si su volumen de transbordo supera el 70% del tráfico total. Están ubicados a lo largo de las principales rutas marítimas, tienen líneas *feeder* y áreas de almacenamiento de gran tamaño. Para ser competitivos, los puertos de transbordo deben ser capaces de manejar la carga de manera eficiente.

Como se observa en la Tabla 2.7, los puertos de transbordo son los que poseen la mayoría de la infraestructura y manejan un mayor número contenedores. No obstante, Santos y Balboa movieron una cantidad similar de contenedores, a pesar de que el primero no está considerado de transbordo (2.728.684 TEUs en 2008 y 2.758.506 TEUs en 2010, respectivamente). Buenos Aires y Santos contaron con 22 grúas de contenedores en el último año, al igual que Kingston (166.641 TEUs) y San Vicente en 2005 (147.968 TEUs).

Tabla 2.7. Medidas descriptivas de la producción y los factores productivos por tipo de puerto

Tipo de puerto	Variable	Producción (TEUs)	Muelles (metros)	Almacenamiento (TEUs)	Grúas (número)
Transbordo	Media	1.032.448	1.525	23.126	9
	Desviación típica	606.611	1.019	25.239	5
	Mínimo	166.641	612	3.168	1
	Máximo	2.758.506	4.129	125.258	22
No transbordo	Media	593.757	1.390	12.033	6
	Desviación típica	446.278	1.272	10.135	4
	Mínimo	147.968	69	560	1
	Máximo	2.728.684	5.380	50.500	22
Total	Media	665.712	1.412	13.853	7
	Desviación típica	502.403	1.234	14.346	5
	Mínimo	147.968	69	560	1
	Máximo	2.758.506	5.380	125.258	22

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.2. Especificación econométrica

Con un conjunto de datos de panel de 40 terminales de contenedores de ALC para el período 2000-2010, se estimó una frontera de producción estocástica translogarítmica. Con este modelo, se estableció una clasificación de la eficiencia relativa que permitió la identificación de los puertos líderes y el análisis tanto de la eficiencia promedio en el sector como de su tendencia en el tiempo. El modelo propuesto por Battese & Coelli (1995), fue estimado por el método de máxima verosimilitud, lo que permitió analizar las variables que pueden influir en la eficiencia de los puertos de contenedores. La frontera se expresa en la siguiente especificación:

$$\begin{aligned}
 \ln Y_{it} = & \alpha_i + \beta_1 \ln Q_{it} + \beta_2 \ln S_{it} + \beta_3 \ln C_{it} + \beta_4 T + 0,5\beta_{11} \ln Q_{it}^2 + 0,5\beta_{22} \ln S_{it}^2 + 0,5\beta_{33} \ln C_{it}^2 \\
 & + 0,5\beta_{44} T^2 + \beta_{12} \ln Q_{it} \ln S_{it} + \beta_{13} \ln Q_{it} \ln C_{it} + \beta_{14} \ln Q_{it} T + \beta_{23} \ln S_{it} \ln C_{it} + \beta_{24} \ln S_{it} T \\
 & + \beta_{34} \ln C_{it} T + v_{it} - u_{it} \\
 & i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

Las variables se tomaron en desviaciones con respecto a la media geométrica y se definen de la siguiente manera: Y_{it} representa el movimiento de contenedores (TEUs) de la terminal de contenedores i para el período t ; α_i se refiere a una variable *dummy* y toma valor 1 para la terminal de contenedores i y 0 en caso contrario; Q_{it} es la longitud de los muelles de la terminal de contenedores i para el período t ; S_{it} constituye la capacidad de almacenamiento de la terminal de contenedores i para el período t ; C_{it} es el número de grúas de contenedores de la terminal de contenedores i para el período t ; T representa una tendencia en el tiempo que recoge el cambio tecnológico neutral; v_{it}

corresponde al error aleatorio que asume independiente e idénticamente distribuido (*iid*) como una $N(0, \sigma_v^2)$ y se distribuye independiente de u_{it} , una variable aleatoria no negativa asociada a la ineficiencia técnica.

La ineficiencia técnica se asume independientemente distribuida como una $N^+(\mu_{it}, \sigma_u^2)$ donde "+" indica truncamiento en cero y μ_{it} se define como:

$$\mu_{it} = \delta_0 + \delta_1 CT_{it} + \delta_2 TB_i + \delta_3 TR_i \quad (2.10)$$

CT_{it} es un variable *dummy* que toma el valor 1 si la terminal de contenedores i para el periodo t está ubicada en un puerto con 3 o 4 terminales y 0 en caso contrario; TB_i representa otra variable *dummy* que tiene el valor 1 si la terminal de contenedores i se encuentran en un país miembro del Mercosur y 0 en caso contrario; y TR_i una variable *dummy* que toma el valor 1 si la terminal de contenedores i se encuentra en un puerto de transbordo y 0 en caso contrario.

2.4.3. Resultados y discusión

Aquí se presentan los resultados de la estimación. Los parámetros de primer orden relacionados con los factores productivos presentan el signo esperado y son positivos y estadísticamente significativos con un nivel de confianza de al menos el 95% (véase Tabla 2.8). El coeficiente de la tendencia temporal también es estadísticamente significativo, mostrando evidencia de progreso tecnológico. Las variables de puerto son significativas en el 79% de los casos, lo cual indica diferencias significativas entre ellos.

Tabla 2.8. Estimación de la frontera de producción estocástica

Variable	Parámetro	Coficiente	Error estándar
Constante	α_0	-0,6274*	0,0875
L (Muelles)	β_1	0,1373**	0,0785
L (Almacenamiento)	β_2	0,0877**	0,0376
L (Grúas)	β_3	0,1794*	0,0523
Tiempo	β_4	0,0547*	0,0053
L (Muelles) * L (Muelles)	β_{11}	-0,1584**	0,0739
L (Almacenamiento) * L (Almacenamiento)	β_{22}	0,0325	0,0459
L (Grúas) * L (Grúas)	β_{33}	0,0530	0,0984
Tiempo * Tiempo	β_{44}	-0,0028	0,0026
L (Muelles) * L (Almacenamiento)	β_{12}	0,0344	0,0573
L (Muelles) * L (Grúas)	β_{13}	0,2913*	0,0802

(continúa)

Variable	Parámetro	Coficiente	Error estándar
L (Muelles) * L (Tiempo)	β_{14}	-0,0001	0,0062
L (Almacenamiento) * L (Grúas)	β_{23}	-0,0272	0,0578
L (Almacenamiento) * L (Tiempo)	β_{24}	0,0145**	0,0061
L (Grúas) * L (Tiempo)	β_{34}	-0,0251*	0,0081
Altamira	α_1	0,1193	0,1257
Balboa	α_2	1,8568*	0,1424
Buenaventura	α_3	0,9374*	0,1172
Buenos Aires	α_4	0,5554**	0,2665
Callao	α_5	2,1433*	0,3586
Cartagena	α_6	1,1855*	0,1331
Caucedo	α_7	0,9925*	0,1170
Coco Solo	α_8	0,9431*	0,1071
Cristóbal	α_9	0,7722*	0,1532
Freeport	α_{10}	1,4939*	0,1358
Guayaquil	α_{11}	1,0240	0,1306
Habana	α_{12}	0,3907*	0,0861
Iquique	α_{13}	-0,3581	0,2264
Itajaí	α_{14}	0,9556*	0,1036
Kingston	α_{15}	0,9597*	0,2421
Lázaro Cárdenas	α_{16}	0,5415*	0,1642
Lirquén	α_{17}	-0,1361	0,1014
Manzanillo	α_{18}	1,1518*	0,1472
Montevideo	α_{19}	0,7054*	0,0935
Paranaguá	α_{20}	0,5657*	0,1033
Port of Spain	α_{21}	0,3009**	0,1484
Puerto Cabello	α_{22}	0,5322***	0,2942
Puerto Cortes	α_{23}	0,6988*	0,1123
Puerto Limón	α_{24}	1,1878*	0,1299
Puerto Manzanillo	α_{25}	1,3598*	0,1646
Puerto Quetzal	α_{26}	0,0589	0,1262
Río de Janeiro	α_{27}	0,1837	0,1164
Rio Grande	α_{28}	0,8367*	0,1047
Rio Haina	α_{29}	0,8658*	0,1237
Salvador	α_{30}	0,2195	0,1377
San Antonio	α_{31}	0,8858*	0,1127
San Juan	α_{32}	1,9862*	0,1478
San Vicente	α_{33}	0,5675*	0,1200
Santo Tomás de Castilla	α_{34}	0,3881*	0,1022
Santos	α_{35}	1,1892*	0,1999
Sepetiba	α_{36}	-0,1429	0,1094
Suape	α_{37}	-0,0946	0,1165
Valparaíso	α_{38}	0,8488*	0,1057
Veracruz	α_{39}	1,0498*	0,1695

* Nivel de significación del 1%; ** Nivel de significación del 5%; *** Nivel de significación del 10%.

Fuente: Elaboración propia.

Todas las variables relacionadas con los efectos de ineficiencia técnica son estadísticamente significativas (Tabla 2.9). Estos resultados confirman que la presencia de más de 2 terminales tiene un impacto positivo en la eficiencia portuaria. De ello se desprende que la competencia

intraportuaria, favorecida por la introducción de iniciativa privada, ha sido beneficiosa para los puertos de ALC. Localizarse en países del Mercosur afecta positivamente a la eficiencia. Contrariamente a las expectativas, un puerto de transbordo contribuye a la ineficiencia. El tráfico de transbordo, que representa más del 70% de la carga manejada, hace a un puerto vulnerable a las crisis económicas y a los cambios en las estrategias de las compañías navieras. Además, cuando un puerto invierte en infraestructura y la expectativa de tráfico no se cumple, puede producirse exceso de capacidad.

Tabla 2.9. Estimación de la frontera de producción estocástica. Factores de ineficiencia técnica

Variable	Parámetro	Coefficiente	Error estándar
Constante	δ_0	-2,145*	0,720
Terminales	δ_1	-2,793*	0,799
Acuerdos comerciales	δ_2	-1,323*	0,334
Transbordo	δ_3	1,211*	0,303
Gamma	γ	0,976*	0,006

* Nivel de significación del 1%.

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de validar el modelo estimado, se aplicó el test de razón de verosimilitud a las hipótesis seleccionadas. Todos los modelos probados fueron rechazados a favor del modelo completo (véase Tabla 2.10).

Tabla 2.10. Test de razón de verosimilitud

Hipótesis nula	Ratio Log likelihood	Valor crítico	Decisión*
$\beta_{11} = \dots = \beta_{34} = \alpha_i = 0$	117,19	29,82	Rechazar
$\alpha_i = 0$	283,24	69,97	Rechazar
$\delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$	85,31	12,84	Rechazar

* Nivel de significación del 1%.

Fuente: Elaboración propia.

La eficiencia técnica promedio de las terminales de contenedores de ALC a lo largo del periodo 2000-2010 se situó en el 83% (Tabla 2.11). No obstante, presentó una tendencia inestable y una tasa de variación anual acumulada negativa (0,29%). El nivel de eficiencia más alto tuvo lugar en 2008 (86%) y el más bajo en 2009 (76%) pero a nivel de crecimiento, mientras que en 2010 la eficiencia registró el mayor crecimiento del periodo (7%), en 2009 presentó una tasa decrecimiento negativa de -12%. Estos resultados podrían reflejar los efectos coyunturales.

Tabla 2.11. Eficiencia media por terminal de contenedores (%)

País	Terminal de contenedores	2001	2004	2007	2010	Media (2000-2010)
Argentina	Buenos Aires	91	89	96	91	90
Bahamas	Freeport	84	83	92	58	82
Brasil	Itajaí	ND	94	93	50	77
	Paranaguá	87	88	95	94	90
	Río de Janeiro	93	92	91	88	90
	Rio Grande	85	96	92	75	85
	Salvador	ND	88	92	89	91
	Santos	72	93	97	94	90
	Sepeitiba	ND	ND	89	87	88
	Suape	ND	ND	90	95	89
Chile	Vitória	ND	89	95	84	88
	Iquique	ND	ND	94	91	89
	Lirquén	ND	ND	91	83	88
	San Antonio	93	88	78	83	85
	San Vicente	ND	55	93	62	70
Colombia	Valparaíso	66	67	95	90	74
	Buenaventura	ND	60	97	71	82
Costa Rica	Cartagena	82	58	92	96	81
	Puerto Limón	89	91	94	88	86
Cuba	Habana	95	84	89	57	81
Ecuador	Guayaquil	94	87	75	96	86
Guatemala	Puerto Quetzal	ND	ND	92	83	87
	Santo Tomás de Castilla	71	97	89	89	84
Honduras	Puerto Cortés	92	87	91	86	88
Jamaica	Kingston	85	88	83	65	80
México	Altamira	85	93	92	83	88
	Lázaro Cárdenas	ND	ND	50	84	78
	Manzanillo	86	93	96	95	90
	Veracruz	94	87	87	68	84
Panamá	Balboa	32	34	83	96	60
	Coco Solo	43	72	96	69	69
	Cristóbal	ND	ND	28	94	54
	Puerto Manzanillo	83	92	65	69	80
Perú	Callao	82	80	94	82	85
Puerto Rico	San Juan	95	85	76	61	81
República Dominicana	Caucedo	ND	ND	74	95	69
	Rio Haina	95	86	42	43	67
Trinidad y Tobago	Port of Spain	79	90	87	91	87
Uruguay	Montevideo	86	90	95	87	88
Venezuela	Puerto Cabello	93	84	95	91	87
ALC	Media	83	83	86	81	83

ND: No disponible.

Fuente: Elaboración propia.

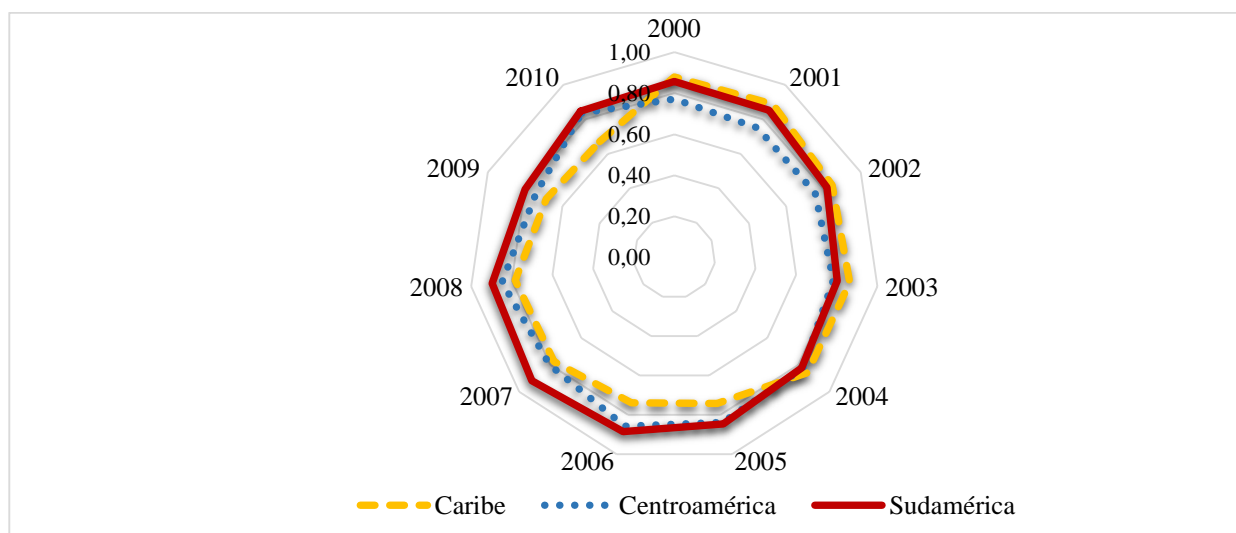
Como muestra la Tabla 2.11, en 2010 las terminales de contenedores más eficientes fueron Guayaquil (96%), Balboa (96%), Cartagena (96%) y Caucedo (95%). Por el contrario, las terminales menos eficientes fueron Rio Haina (3%), Itajaí (50%), La Habana (57%) y Freeport (58%). Rio Haina, Itajaí y Freeport sufrieron una reducción de la eficiencia durante el período 2000-2010.

Cristóbal y Balboa en Panamá, Caucedo en República Dominicana y Lázaro Cárdenas en México experimentaron la mayor tasa de crecimiento anual acumulada.

Concretamente en Panamá, mientras que Balboa y Cristóbal tenían una eficiencia en torno al 96%, Coco-Solo y Puerto Manzanillo mostraron un nivel de eficiencia del 69%. Las dos últimas terminales comenzaron a operar a finales de los 90 y se encuentran en el Océano Atlántico. Sus competidores directos son Balboa, en el Océano Pacífico y Cristóbal, en el Océano Atlántico. Ambas terminales son operadas por *Panama Ports Company* (PPC) y, en particular, Balboa se encuentra en una ubicación estratégica debido a que las principales rutas del Canal de Panamá se originan en el Pacífico. Ambas cuestiones pueden hacer que estos puertos de contenedores estén atrayendo más tráfico.

La Figura 2.1 presenta la evolución de la eficiencia técnica promedio por año para cada región. Entre 2000 y 2004, las terminales de contenedores del Caribe tuvieron el nivel de eficiencia más alto (88%) y desde el año 2005 presentaron el nivel más bajo (67%). La eficiencia fue mayor en Sudamérica que en Centroamérica, hasta el año 2005. Posteriormente, las terminales de contenedores en América del Sur alcanzaron el nivel de eficiencia más alto.

Figura 2.1. Eficiencia técnica media por año (2000-2010)

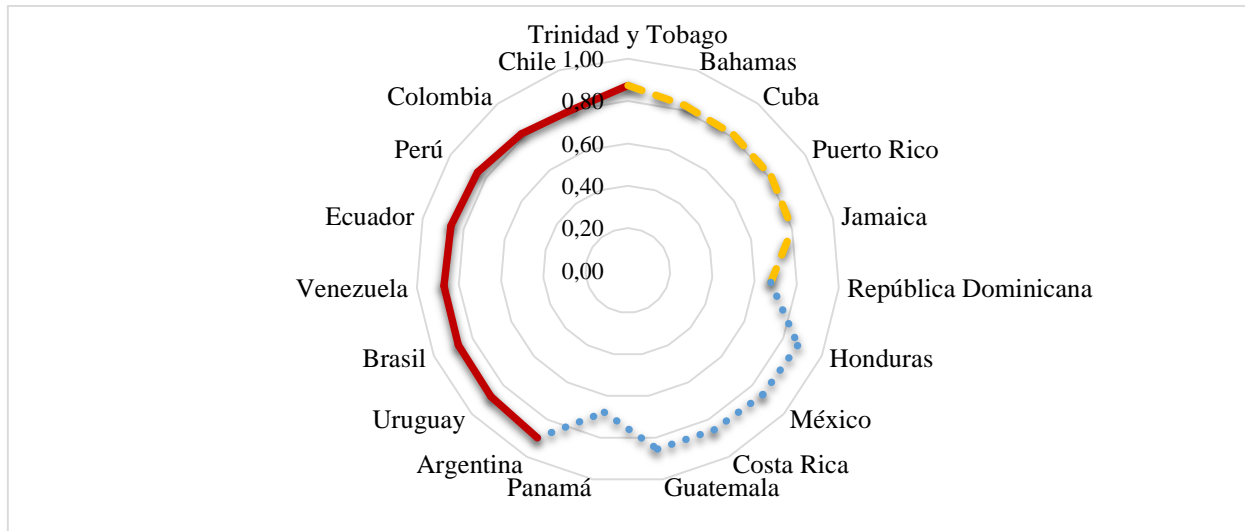


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2.2 muestra la eficiencia técnica media de los puertos de contenedores por país para el período 2000-2010. Las terminales de contenedores con mayor eficiencia se encuentran en países

como Argentina, Uruguay, Brasil, Trinidad y Tobago, Honduras y México. Por el contrario, las de Panamá, República Dominicana, Puerto Rico y Colombia mostraron resultados medios más bajos. En términos de áreas geográficas, las terminales más eficientes estaban ubicadas en Sudamérica (85%), seguidas de las ubicadas en Centroamérica (80%) y el Caribe (79%).

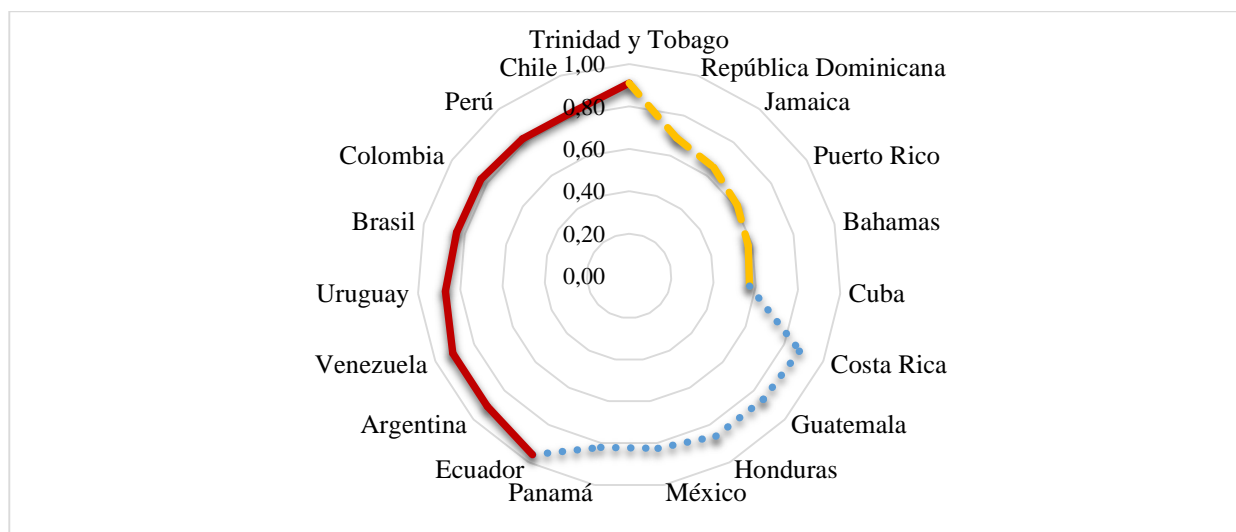
Figura 2.2. Eficiencia técnica media por país (2000-2010)



Fuente: Elaboración propia.

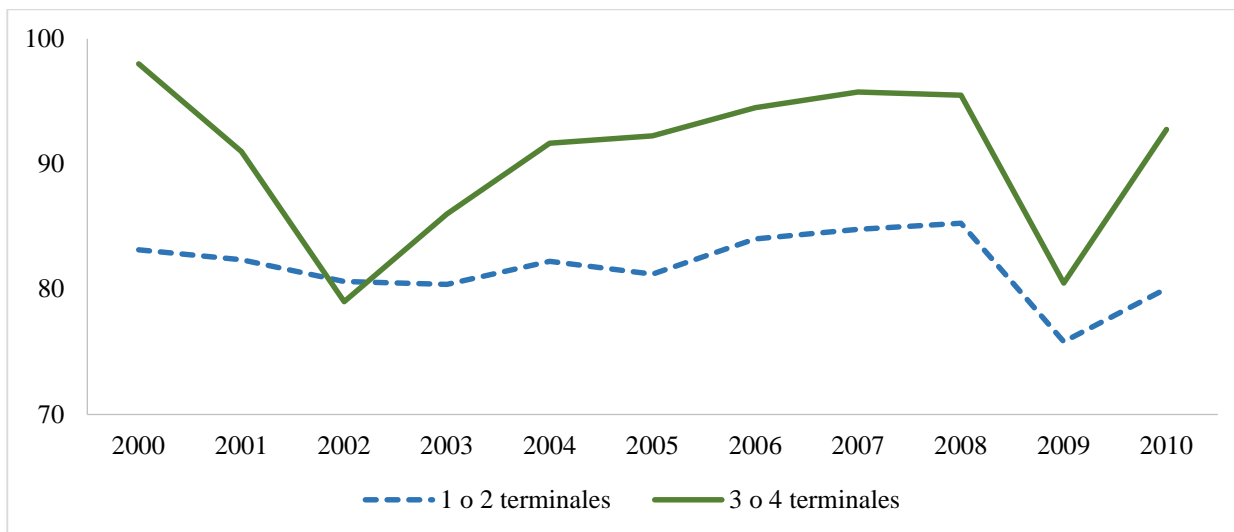
La eficiencia técnica de las terminales de contenedores por país y para el año 2010, se puede observar en la Figura 2.3. Por áreas geográficas, las terminales de contenedores más eficientes fueron las localizados en Trinidad y Tobago (91%), Costa Rica (88%) y Ecuador (96%). Los resultados de eficiencia más bajos tuvieron lugar en Cuba (57%).

Figura 2.3. Eficiencia técnica media por país (2010)



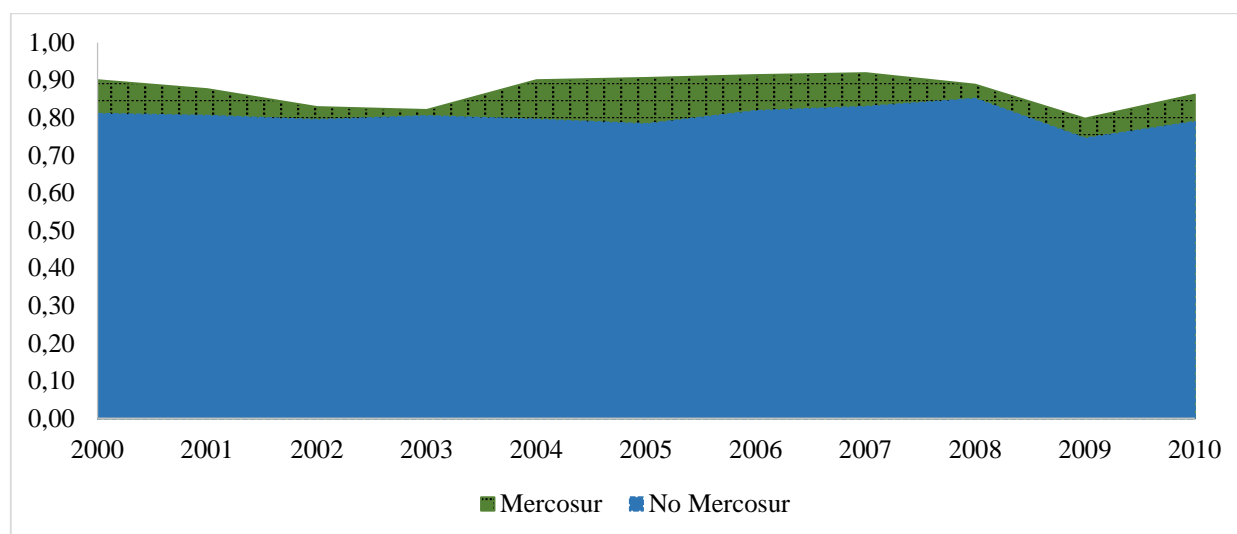
Fuente: Elaboración propia.

El efecto del número de terminales de un puerto en la eficiencia, se presenta en la Figura 2.4. La eficiencia media es mayor en puertos con más de 2 terminales de contenedores (91%) que en puertos con menos terminales (82%). Solo en 2002, la eficiencia de las terminales de puertos con 3 o 4 terminales de contenedores fue menor que en las otras. En ese año, la inversión en nueva infraestructura y el aumento del número de terminales no fueron acompañados por un incremento del tráfico. En Buenos Aires, por ejemplo, la carga recibida cayó cuando acababan de adquirir tres grúas de contenedores nuevas. En Manzanillo, el tráfico se mantuvo sin cambios a pesar de haber incrementado el número de terminales.

Figura 2.4. Eficiencia técnica media por número de terminales (2000-2010)

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2.5 muestra que la eficiencia promedio es mayor en las terminales de contenedores ubicadas en países del Mercosur. En 2010, mientras que las terminales de contenedores no ubicadas en países del Mercosur tuvieron una eficiencia del 79%, las terminales situadas en los países del Mercosur presentaron una eficiencia del 86%. Los acuerdos comerciales promueven el desarrollo de los países involucrados y, por lo tanto, sus puertos. Por un lado, con la expansión y consolidación de los mercados, los puertos pueden aumentar y consolidar su tráfico de mercancías. Por otro lado, con la eliminación o reducción de los aranceles y las barreras aduaneras, los puertos pueden realizar una gestión más eficiente a través de la reducción del tiempo de espera de los buques. Además, los puertos pueden reducir los costes, aumentar su competitividad y crear empleo.

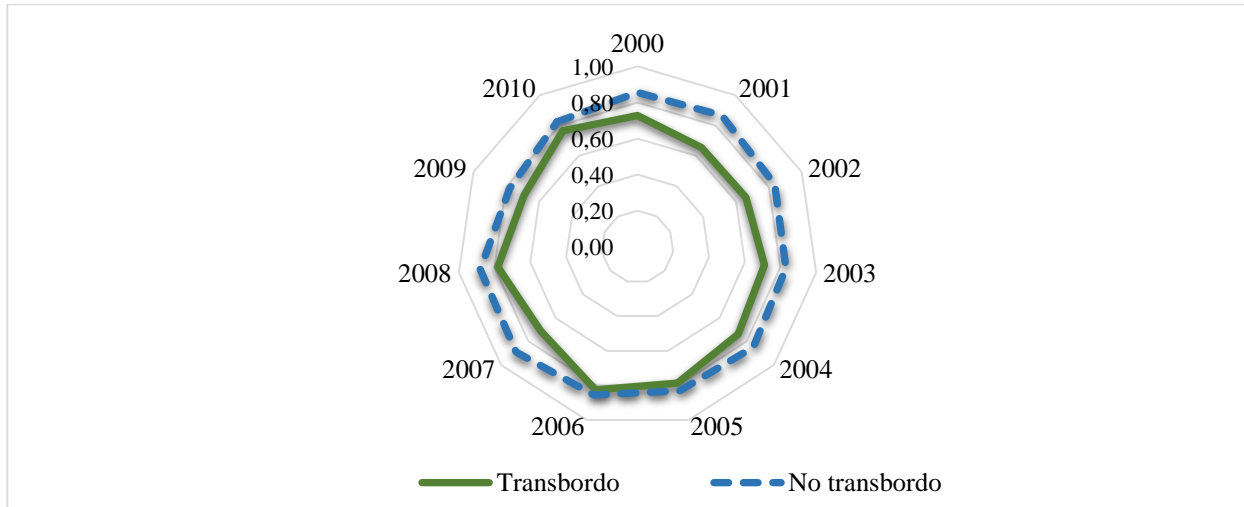
Figura 2.5. Eficiencia técnica media por acuerdos comerciales (2000-2010)

Fuente: Elaboración propia.

La eficiencia de las terminales de contenedores según el tipo de puerto para el período 2000-2010, se presenta en la Figura 2.6. En promedio, mientras que el nivel de eficiencia de las terminales de puertos de transbordo es del 73%, el nivel de eficiencia en el resto es del 84%. Los puertos de transbordo se encuentran estratégicamente ubicados a lo largo de rutas marítimas y su movimiento de carga está sujeto a cambios en las mismas. Sin embargo, los puertos *gateway*, por su definición, además de realizar operaciones de transbordo, tienen una zona de influencia que genera grandes volúmenes de carga, ya que se encuentran cerca de las principales zonas industriales y de consumo donde la demanda no está sujeta a presiones competitivas. Según Lam & Yap (2008) tener una carga local es fundamental para reducir la dependencia del transbordo y para atraer a las compañías navieras.

Algunos puertos invierten en infraestructura con el fin de captar más tráfico, sin embargo, la inversión podría llegar a producir exceso de capacidad si las expectativas no se cumplen (Lirn et al., 2003; Cullinane et al., 2006; Medal-Bartual, 2011; Figueiredo & Cariou, 2015). Las inversiones materializadas durante la crisis dieron lugar a un aumento de la capacidad en un periodo de recesión (Wilmsmeier et al., 2013).

Figura 2.6. Eficiencia técnica media por tipo de puerto (2000-2010)



Fuente: Elaboración propia.

El cambio tecnológico (CT) supone un desplazamiento de la frontera de producción en el tiempo como consecuencia de la introducción de cualquier cambio técnico que afecte a todas las empresas del sector. Por lo tanto, suponen un incremento en la máxima cantidad que puede producirse dada una combinación de recursos.

Para calcular el CT, en primer lugar, se deriva la función de producción representada en la ecuación (2.9) con respecto al tiempo:

$$\partial(\ln Y_{it})/\partial T = \beta_4 + \beta_{44}T + \beta_{14}\ln Q_{it} + \beta_{24}\ln S_{it} + \beta_{34}\ln C_{it} \quad (2.11)$$

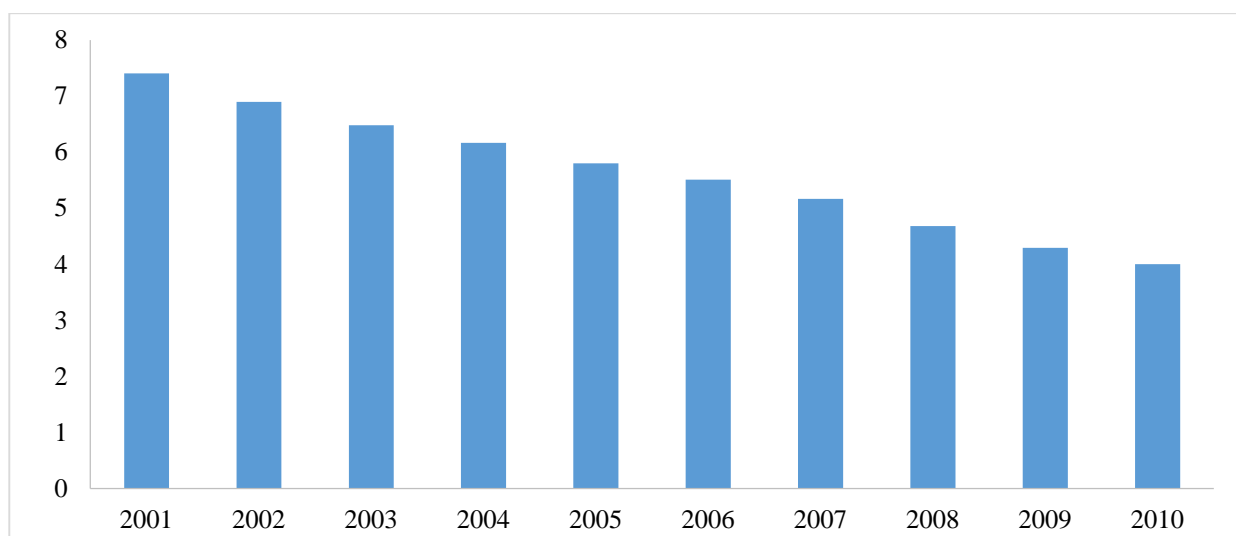
Posteriormente, para obtener el CT entre los periodos 1 y 2 de la empresa i -ésima se calcula el promedio de las derivadas de ambos años:

$$CT_{i(1-2)} = ((\partial \ln Y_{i1} / \partial T) + (\partial \ln Y_{i2} / \partial T)) / 2 \cdot 100 \quad (2.12)$$

Como se puede observar en la Figura 2.7, las terminales de contenedores en ALC experimentaron un cambio tecnológico durante el período de 2000-2010. Con las tendencias en el transporte de carga y la iniciativa privada introducida en el sector después de las reformas de la década de 1980, si las terminales de contenedores querían ser competitivas tenían que modernizar su infraestructura. De media, el progreso tecnológico fue positivo (5%), pero con una tasa de crecimiento negativa (0,07%).

Alcanzó su valor medio más alto en 2001 (7,4%), lo que indica que se hicieron los cambios tecnológicos más importantes en los primeros años de la muestra. Los procesos de modernización portuaria requieren nuevas inversiones. Después del año inicial, el ritmo del cambio tecnológico se atenúa.

Figura 2.7. Cambio tecnológico por año (%)



Puente: Elaboración propia.

2.5. Conclusiones

La eficiencia portuaria es un elemento importante en la toma de decisiones pues permite identificar buenas prácticas o mala asignación de recursos (García-Alonso et al., 2007). Gestionar elevados volúmenes de carga depende de factores que no siempre se encuentran en manos de los agentes portuarios. Conocer los elementos que condicionan la eficiencia de un puerto y, por tanto, el desarrollo portuario resulta fundamental.

En este contexto, en este trabajo se analiza la competencia como determinante de la eficiencia de los principales puertos de contenedores en ALC. A través de una función de producción se estimó la eficiencia de 40 terminales de contenedores, los cuales manejan cerca del 90% de la mercancía contenerizada en ALC, durante el periodo 2000-2010. El nivel medio de eficiencia se concretó en 83%, con un cambio tecnológico positivo (5%).

Para conocer la relación entre la competencia y la ineficiencia, la competencia interportuaria fue caracterizada por los acuerdos comerciales y el tráfico de transbordo y la competencia intraportuaria fue aproximada por el número de terminales.

Los resultados muestran que las terminales de contenedores ubicadas en países del Mercosur son más eficientes. Tener alianzas comerciales promueve el crecimiento de los niveles de eficiencia ya que, al asegurar el comercio con determinados países, las terminales pueden aumentar su manipulación de carga y reducir el coste por unidad. Además de capturar economías de escala, las alianzas comerciales ayudan a eliminar y/o reducir los trámites aduaneros, acortando el tiempo de espera de los buques.

Las terminales de contenedores ubicadas en los puertos de transbordo revelan niveles de eficiencia inferiores a los presentados por otro tipo de puertos. Los puertos de transbordo se enfrentan a elevadas presiones competitivas en su lucha por la carga ya que las rutas marítimas dependen, principalmente, de las estrategias comerciales de las navieras. La competencia por el tráfico de transbordo genera inversiones adicionales en infraestructura portuaria (como ampliación de muelles o adquisición de grúas con una capacidad más alta) con el fin de satisfacer las necesidades de las compañías navieras. Sin embargo, fundamentar el crecimiento de un puerto en un tráfico fluctuante podría crear inestabilidad pues, de no producirse el tráfico esperado, las terminales de contenedores podrían experimentar un exceso de capacidad.

Midiendo la competencia intraportuaria a través del número de terminales que operan en cada puerto, los resultados señalan que los puertos con más de 2 terminales de contenedores son más eficientes.

Teniendo en cuenta los resultados, los agentes encargados de tomar decisiones en el ámbito portuario en ALC deberían considerar la promoción de la competencia interportuaria, a través de los acuerdos comerciales, y el fortalecimiento de la competencia intraportuaria. Los acuerdos comerciales podrían asegurar el intercambio entre los países miembros y los puertos ubicados en estos países podrían beneficiarse, por un lado, de un aumento en la carga manejada y, por otro, de una reducción en el tiempo de espera de los buques, como resultado de los acuerdos aduaneros. El fortalecimiento de la competencia entre terminales podría ayudar a los puertos a ser más competitivos. Ambas acciones ayudarían a reducir las fluctuaciones del tráfico en los puertos de transbordo.

En lo que a las futuras líneas de investigaciones sería interesante incluir la mano de obra como factor productivo, así como variables relacionadas con la estancia del buque en el puerto.¹⁰

¹⁰ Véase Suárez-Alemán et al. (2014) para más información sobre esta cuestión.

Capítulo 3 ¿Afecta a la eficiencia portuaria la especialización y el tamaño de los puertos? Una aplicación a los puertos españoles

3.1. Introducción

Para posicionarse en un mercado cada vez más globalizado, la mayoría de los puertos emplean estrategias competitivas, incluso aquellos puertos situados en una misma región y gestionados por autoridades portuarias diferentes (Wang & Slack, 2004). Entre las estrategias competitivas, la especialización ocupa un lugar preferente y obedece a diferentes razones. Según González-Laxe (2004), los puertos deben centrar sus esfuerzos en alcanzar altas tasas de productividad, lo que supone, entre otras acciones, la especialización de puertos y terminales. Por otra parte, cada tipo de buque, que presenta unas características específicas según el tipo de carga que transportan, demanda instalaciones y tecnologías especializadas, que deben ser satisfechas por puertos y terminales portuarias.

La especialización suele estar orientada a satisfacer las necesidades del *hinterland*, existiendo una relación entre la actividad económica desarrollada por las empresas ubicadas en el área de influencia del puerto y la mercancía manejada (Seguí & Martínez, 2004). Según Serrano-Martínez (2000), la especialización puede ser un elemento primordial para incrementar la cuota de mercado de un tráfico para el que existe una demanda suficiente, aunque también puede limitar el desarrollo de un puerto al quedar reducida su área de acción.

En su estudio sobre los puertos españoles, Medal-Bartual et al. (2012) sostienen que el presupuesto estatal debe apoyar a los puertos más eficientes para favorecer su especialización. Sin embargo, una excesiva especialización de los puertos puede convertirse en una fuente de vulnerabilidad y, en ocasiones, puede contribuir a generar duplicidades y despilfarro de recursos (Birkinshaw & Lingblad, 2005). En este sentido, De Langen (2002) afirma que los puertos de menor tamaño, más que especializarse, deberían orientarse hacia la diversificación, puesto que esto reduciría su dependencia de los tráficos fluctuantes.

Ante esta situación, los componentes de un sistema portuario regional deben buscar soluciones en las que todas las unidades del sistema mejoren (Wang & Slack, 2004). La cooperación es una estrategia cuyos beneficios potenciales son aumentos en la rentabilidad y/o mejoras en la calidad de los

servicios (Crujssen et al., 2007). Bartlett & Ghoshal (2000) plantean que las alianzas estratégicas permiten a las empresas participantes aprovechar los beneficios de las economías de escala debido a la puesta en común de sus recursos, a la concentración en actividades básicas -aprovechando las fortalezas y capacidades específicas de cada empresa- y al establecimiento de recursos complementarios. Por este motivo, se podría distinguir entre la cooperación complementaria y la cooperación competitiva. La primera tiene lugar cuando un puerto necesita a otro puerto, logrando complementarse como ventaja competitiva. La cooperación competitiva surge cuando las empresas trabajan juntas en partes de su actividad donde pueden compartir costes comunes, sin dejar de ser competitivas en otras áreas.

La cooperación entre puertos ofrece soluciones mutuamente ventajosas que permiten mejorar la competitividad general de todos los puertos de una misma región (Song, 2002; Song, 2003; Yap & Lam, 2004; Hwang & Chiang, 2010). El tráfico de contenedores se desarrolla en un entorno altamente competitivo, marcado por el aumento en el tamaño de los buques y las alianzas entre operadores navieros. En este caso particular, también la cooperación portuaria se presenta como una opción para hacer frente a las duras condiciones que establece la competencia (Avery, 2000).

Considerando lo expuesto, como paso previo al diseño de políticas de cooperación o de promoción de la especialización, en este trabajo se analiza la especialización de los puertos que conforman el sistema portuario estatal en España desde la óptica del análisis paramétrico de la eficiencia portuaria. En este sentido, el principal objetivo reside en encontrar una relación causal entre la ineficiencia de los puertos españoles y la especialización portuaria y el tamaño de los principales puertos españoles. Esta es una de las aportaciones novedosas de este trabajo: dilucidar si ampliar y/o especializar los puertos es una buena estrategia para fomentar la eficiencia.

Puesto que el servicio que se analiza es la manipulación de mercancías, otro aspecto novedoso de este estudio reside en que el factor trabajo se ha aproximado a través del número de estibadores portuarios. Como se desprende de la revisión de la literatura, obtener datos sobre los estibadores portuarios es una tarea difícil, por lo que la investigación empírica ha buscado dos aproximaciones para medir este factor. Una consiste en utilizar datos sobre los trabajadores empleados en las autoridades portuarias y la otra reside en acudir al supuesto simplificador de usar el número de grúas como *proxy* del número de estibadores. Para realizar este trabajo, después de numerosas gestiones, se

ha logrado obtener el número de estibadores portuarios, que son los directamente implicados en el servicio de manipulación de la carga.

El resto del capítulo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 3.2 se describen las principales características del Sistema Portuario Español. En la Sección 3.3 se exponen los trabajos recientes realizados en torno a la eficiencia portuaria. A continuación, en la Sección 3.4, se presentan la metodología, los datos y los resultados. Por último, se exponen las principales conclusiones derivadas de esta investigación.

3.2. Sistema Portuario Español de titularidad estatal

El transporte marítimo es el principal modo en el que se lleva a cabo el comercio internacional. En España la industria portuaria maneja el 53% del comercio exterior con la UE y el 96% con terceros países.

Con 8.000 kilómetros, España es el país de la UE con mayor longitud de costa. De hecho, más del 90% de sus fronteras son marítimas. El sector portuario contribuye en un 2,07% al PIB y genera unos 100.000 empleos directos, 60.000 empleos indirectos y 116.000 inducidos, contribuyendo con un 1,23% al empleo total (Gobierno de España, 2016).

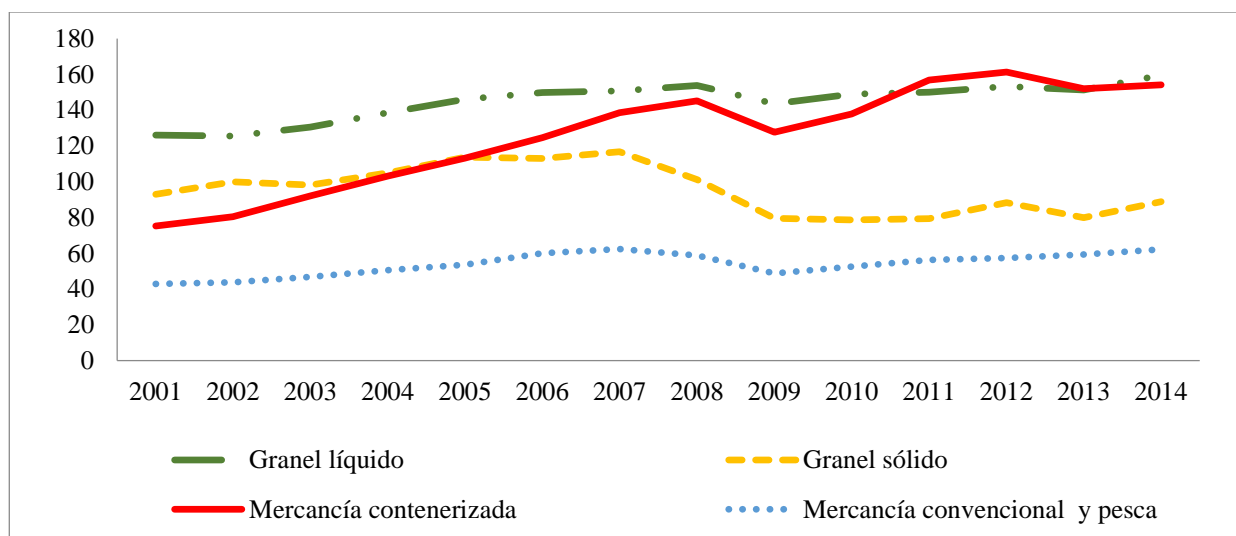
España ostenta el primer puesto en movimiento de contenedores y la cuarta posición en tráfico de granel de la UE-28, lo que supone el 16% del total de contenedores en la UE y 12% del granel (Eurostat, 2016). A nivel mundial y en términos de carga contenerizada, España se sitúa en el Top-15 (Banco Mundial, 2016). Los puertos de Algeciras (quinto puesto) y Barcelona (vigésimo puesto) se encuentran en el Top-20 europeo.

El Sistema Portuario Español está compuesto por puertos de titularidad estatal, denominados puertos de interés general, y por puertos que son de competencia regional (Real Decreto Legislativo 2/2011). A su vez, el Sistema Portuario Español de titularidad estatal (SPE) está integrado por 28 autoridades portuarias que gestionan 47 puertos bajo la coordinación de Puertos del Estado. En estos puertos tienen lugar diferentes actividades como son, entre otros, el servicio por el uso de la infraestructura, el servicio para el atraque o el servicio de almacenamiento. Entre los servicios portuarios, la manipulación de mercancías destaca por representar entre el 60% y el 90% de los costes de la escala

de un buque, y además es la primera actividad en aportación al valor añadido y al empleo portuarios (De Rus et al., 1994, 2009).

En 2014 estos puertos movieron 468 millones de toneladas, de las cuales el 53% es tráfico de granel (34% de granel líquido y 19% de granel sólido). El 47% restante es carga general, de la cual el 71% es mercancía contenerizada. En el periodo 2001-2014, el tráfico total de mercancías aumentó a una tasa anual acumulada del 2,5% (véase Figura 3.1). Por tipo de carga, lo más destacable es el crecimiento de la carga contenerizada (6%) y la caída del granel sólido, que pasó de 93 a 89 millones de toneladas. Siguiendo la tendencia mundial impuesta por la crisis económica, en el año 2009 el transporte de mercancías en los puertos españoles disminuyó un 13%. La tipología de carga más afectada fue el granel sólido (-21%), seguida de la mercancía general convencional y la pesca (-17%), la mercancía contenerizada (-12%) y el granel líquido (-7%). Desde 2010 y hasta la actualidad, se aprecia una recuperación del tráfico portuario, alcanzándose un crecimiento del 3%, similar al del periodo previo a la crisis.

Figura 3.1. Tráfico de mercancías del SPE (millones de toneladas)



Fuente: Puertos del Estado. Elaboración propia.

Si bien durante el periodo de estudio se llevaron a cabo varios cambios legislativos, la transformación del sector había comenzado años atrás (Ley 27/1992, Ley 62/1997, Ley 48/2003, Ley 33/2010). La modernización portuaria comenzó con el abandono del modelo *Service port*, en el que la autoridad portuaria, además de ser la propietaria de la infraestructura y superestructura, gestiona y explota las instalaciones, y la instauración de un modelo *Landlord*, en el que las autoridades

portuarias ceden los servicios a operadores privados (González-Laxe, 2012). Las acciones posteriores se centraron en continuar apostando por la competitividad portuaria, potenciando la participación privada en la financiación, construcción y explotación de las instalaciones portuarias y flexibilizando el sistema tarifario con el fin de conseguir puertos más competitivos. De esta manera, se incentiva la captación de tráficos sensibles, prioritarios o estratégicos para cada autoridad portuaria y, por ende, la adecuación de las instalaciones a las necesidades operativas de las mismas. La competencia, entonces, se puede observar a través de las inversiones en instalaciones y, reflejo de ello, es que cerca del 70% de la inversión portuaria nacional se destina a gastos en infraestructura portuaria (García-Alonso et al., 2007). Por consiguiente, para hacer de la especialización una estrategia eficiente, las instalaciones portuarias deben adaptarse a las necesidades de cada tipo de tráfico.

Actualmente, dentro del SPE se encuentran puertos que presentan una notable especialización. Los puertos con perfil de granel líquido son Huelva y Cartagena con un 70%-80% sobre su tráfico de mercancías total, Tarragona con un 61%, A Coruña con 56%, y Castellón y Bilbao con un 54%. La especialización en granel sólido corresponde a Gijón (56%), Avilés (81%), Santander (61%) y Ferrol (59%). Los puertos especializados en mercancía general son Valencia (95%), Melilla (92%), Vigo (90%), Palma (85%), Las Palmas (78%) y Bahía de Algeciras (70%). Junto a estos puertos coexisten otros en los que no predomina ningún tipo de tráfico y que, en la mayoría de los casos, son puertos pequeños que se encuentran próximos a un puerto grande y especializado.

3.3. Literatura sobre eficiencia portuaria

La eficiencia portuaria ha sido objeto de interés por parte de la literatura académica que ha utilizado dos enfoques para cuantificarla: el econométrico, cuyo principal exponente son las fronteras estocásticas, surgidas a partir de los trabajos de Aigner et al. (1977) y Meeusen & Van den Broeck (1977), y las técnicas de programación lineal, representadas fundamentalmente por el Análisis Envolvente de Datos e introducidas por Charnes et al. (1978). El primer enfoque es estocástico y paramétrico, por lo que permite distinguir los efectos del ruido de los efectos de la ineficiencia, pero puede confundir con ineficiencia una mala especificación funcional. El segundo método no requiere la imposición de una forma funcional pero los resultados obtenidos pueden verse afectados por la existencia de ruido aleatorio. Cada uno de ellos posee ventajas e inconvenientes y su uso depende del caso de estudio.¹¹

¹¹ Para más detalle, véase Coelli et al. (2003).

A través de una u otra metodología, el análisis se ha centrado básicamente en dos servicios: la provisión de la infraestructura portuaria proporcionada por las autoridades portuarias (González & Trujillo, 2008; Núñez-Sánchez et al., 2012; Díaz-Hernández et al., 2014; Tovar & Wall, 2015) y la manipulación de la mercancía prestada por empresas estibadoras (Rodríguez-Álvarez et al., 2007; Díaz-Hernández et al., 2008). En ambos casos, la diversidad de la carga manejada y de los servicios prestados hacen de la actividad portuaria una actividad multiproductiva (Medal-Bartual & Sala-Garrido, 2011; Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012; Díaz-Hernández et al., 2014). A pesar de ello, en ocasiones las investigaciones se han centrado en el análisis de cargas específicas (Cheon et al., 2010; Bichou, 2013; Gil-Ropero et al., 2015; Pérez et al., 2016).

Dentro de las metodologías paramétricas, la función distancia ha sido usada en los trabajos que reflejan la naturaleza multiproductiva de la actividad portuaria. La distancia se puede medir a través de la orientación a los *outputs*, que refleja la máxima expansión de la producción que la empresa puede hacer para una cantidad dada de insumos, o a los *inputs*, que refleja la mínima combinación de factores que puede usarse para alcanzar un cierto nivel de producción. Puesto que el uso de una u otra depende del elemento sobre el que la empresa posee mayor poder de decisión, en el ámbito portuario se ha empleado mayoritariamente la función distancia con orientación *output* (González & Trujillo, 2009). No obstante, Coelli & Perelman (1999) han demostrado que ambas orientaciones producen resultados similares.

Una cuestión que cobra especial relevancia en la estimación de las fronteras estocásticas es la inclusión de las denominadas variables de entorno o ambientales, que no son controlables, al menos a corto plazo y que, de no ser consideradas, podrían contribuir a asignar objetivos inalcanzables a los puertos más perjudicados por el entorno (Dios-Palomares et al., 2006). Para capturar estos elementos inobservables se han incluido *dummies* de autoridad portuaria, de puerto, de terminal o de país (Rodríguez-Álvarez & Tovar, 2012; Pérez et al., 2016). También se ha incorporado la localización (puerto continental versus insular) y la existencia de refinerías. Según González & Trujillo (2008), ser puerto insular o contar con una refinería afecta positivamente en la eficiencia portuaria. Puesto que la demanda de servicios portuarios y, por tanto, la infraestructura portuaria aumentan con el nivel de actividad económica y el tamaño del *hinterland*, las condiciones económicas del país (Bergantino & Musso, 2011; Yip et al., 2011) y el tamaño del *hinterland* (Cheon, 2009; Wanke 2013; Yuen et al., 2013) también han sido considerados como variables de entorno.

Uno de los elementos más estudiados en relación a las variables ambientales ha sido el efecto de las reformas portuarias. Bien a través de una variable numérica o por medio de una variable *dummy*, se ha demostrado un efecto positivo de las reformas sobre los niveles de eficiencia (Díaz-Hernández et al., 2008; González & Trujillo, 2008; González et al., 2009; Cheon et al., 2010; Bergantino & Musso, 2011; Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012; Trujillo et al., 2013; Pérez et al., 2016).

Conocer los factores que contribuyen a la eficiencia de los puertos es crucial, tanto para los tomadores de decisiones como para los operadores portuarios. Uno de los aspectos más estudiados sobre la eficiencia portuaria es el efecto de la gestión privada frente a la pública, sin embargo, no existen resultados evidentes. Cullinane et al. (2002), Wanke et al. (2011) y Chang & Tovar (2014a) concluyen que la gestión privada genera mejores resultados de eficiencia. Aunque Yuen et al. (2013) observan un efecto positivo de la propiedad estatal sobre la eficiencia, advierten que este impacto podría volverse negativo si la participación es mayoritaria. En general, la evidencia empírica conduce a afirmar que la participación privada debe primar sin dejar al margen al Estado que debe continuar con su función reguladora. Resultados similares obtienen Tongzon & Heng (2005) en su trabajo sobre 25 terminales de contenedores de todo el mundo. Para ellos, la participación privada debe primar sin dejar al margen al Estado, continuando con su función reguladora. En sus respectivos estudios sobre terminales de contenedores, Notteboom (2002) y Cullinane et al. (2005a) resolvieron que no existía una clara relación entre el tipo de propiedad y la eficiencia portuaria.

El tamaño del puerto también puede repercutir sobre la eficiencia. Este factor se ha aproximado a través de la carga manejada (Turner et al., 2004; Tongzon & Heng, 2005; Sohn & Jung, 2009) y de la longitud de los muelles (Coto-Millán et al., 2000). Según Turner et al. (2004) y Tongzon & Heng (2005), los puertos de mayor tamaño son más eficientes. Sohn & Jung (2009) demostraron que una mayor dimensión portuaria tiene un efecto positivo tanto en la eficiencia en el manejo de contenedores como en el volumen de trasbordo. Sin embargo, una caída brusca de la demanda puede volver ineficiente a un puerto grande. En este sentido, algunos autores sostienen que realizar fuertes inversiones en infraestructura y equipamiento puede resultar negativo si se realizan como respuesta a unas expectativas futuras de demanda que, finalmente, no tienen lugar (Lirn et al., 2003; Cullinane et al., 2006; González & Trujillo, 2009; Medal-Bartual, 2011; Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012; Figueiredo De Oliveira & Cariou, 2015). Por último, Coto-Millán et al. (2000) no encontraron una relación entre la eficiencia económica y el tamaño del puerto en una estimación en dos etapas.

La eficiencia portuaria también se puede ver afectada por el nivel de competencia. Yuen et al. (2013) midieron la competencia interportuaria mediante la distancia entre las terminales y el puerto más cercano, y la intraportuaria a través del número de operadores de las terminales y concluyeron que, a menor distancia y mayor número de operadores, se producían mayores niveles eficiencia. Pérez et al. (2016) analizaron la incidencia de la competencia interportuaria a través de la especialización en el tráfico de transbordo y los acuerdos comerciales, y la intraportuaria por medio del número de terminales que operan en el puerto. Los resultados mostraron que, mientras las terminales ubicadas en países con acuerdos comerciales eran más eficientes, las localizadas en puertos de transbordo poseían menores niveles de eficiencia. El mayor número de terminales en puerto, contribuyó a resultados más eficientes.

El tipo de carga también puede influir en la eficiencia. Wanke et al. (2011) Chang & Tovar (2014a) obtuvieron que una mayor proporción de granel en el tráfico total reduce los niveles de ineficiencia debido a la tecnología empleada en el manejo del granel.

Otros factores de ineficiencia son el grado de mecanización portuaria, aproximado a través del porcentaje de mercancía contenerizada (Rodríguez-Álvarez & Tovar, 2012; Chang & Tovar, 2014a) y el tamaño del *hinterland*, que ha sido medido por el nivel de actividad económica de la zona, la superficie y la población (Bergantino & Musso, 2011; Wanke, 2013; Yuen et al., 2013). Los autores sugieren que la ineficiencia es tanto menor cuanto mayor es el grado de mecanización y mayor es el *hinterland*. La capacidad de almacenamiento, medida en TEUs (Sohn & Jung, 2009), también ha sido analizada, aunque sin resultados concluyentes. Bergantino & Musso (2011) estudiaron el efecto que la conexión con otros medios de transporte tiene sobre la ineficiencia portuaria en Europa y demostraron que cuanto mejor y más integrada esté una red de transporte, la infraestructura y el equipamiento se usarán de un modo más eficiente. En su trabajo sobre terminales portuarias, Chang & Tovar (2014a) encontraron que un mayor nivel de ocupación, medido a través de las horas en las que el barco ha estado operando en el muelle, reduce significativamente la ineficiencia portuaria, por lo que recomiendan orientar las estrategias hacia la captación de tráfico en las terminales con bajos índices de ocupación.

En esta revisión de la literatura se ha puesto de manifiesto la escasez de evidencia sobre cómo afecta el tipo de especialización portuaria a la ineficiencia. Para abordar esta cuestión en este trabajo se

utiliza una función distancia paramétrica puesto que permite estimar la ineficiencia y representar convenientemente tecnologías multiproductivas.

3.4. Eficiencia en el Sistema Portuario Español

3.4.1. Modelo teórico y especificación econométrica

Para cuantificar la eficiencia portuaria se ha empleado una técnica de frontera estocástica, la función distancia (Shephard, 1953), puesto que permite medir la eficiencia de actividades multiproductivas a través de la distancia entre la producción observada y la frontera del conjunto de posibilidades de producción, respondiendo esta última a las prácticas de las mejores empresas de la muestra. El análisis de la literatura y de las condiciones en que se desenvuelve la actividad portuaria sugiere utilizar la orientación *output*, puesto que la capacidad de decisión de los operadores portuarios reside en gran medida en esta variable.

La función distancia orientada a los *outputs* compara la producción que obtiene una empresa con el máximo producto que puede obtenerse con la misma cantidad de insumos. Analíticamente, se representa de la siguiente manera:

$$D_0(x, y) = \min\{\mu: y/\mu \in P(x)\} \quad (3.1)$$

donde $P(x)$ es el conjunto de posibilidades de producción, es decir, todos los vectores de producción $y \in R_+^N$ que se pueden obtener empleando el vector de insumos $x \in R_+^N$. La función $D_0(x, y)$ es no decreciente en *outputs*, no creciente en *inputs*, homogénea de grado 1 en *outputs* y convexa en *outputs*.

Si la empresa es eficiente, la distancia toma un valor igual a uno, situándose la empresa sobre la frontera del conjunto de posibilidades de producción. De lo contrario, la función toma un valor inferior a la unidad. En este caso, el vector de productos y se está produciendo con el vector de insumos x , a pesar de que esa misma combinación de factores podría expandir el producto hasta y/μ .

La estimación econométrica de una función distancia requiere la especificación de una forma funcional, que debe ser flexible, fácil de calcular y admitir la homogeneidad. La función translogarítmica¹² satisface esos requerimientos y matemáticamente se define como:

$$\begin{aligned} \ln D_{oit} = & \alpha_0 + \sum_{m=1}^M \alpha_m \ln y_{mit} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \alpha_{mn} \ln y_{mit} \ln y_{nit} + \sum_{k=1}^K \beta_m \ln x_{kit} \\ & + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K \beta_{kl} \ln x_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \delta_{km} \ln x_{kit} \ln y_{mit} + \sum_{t=1}^T \varphi_t f_t + \sum_{h=1}^H \psi_{hi} d_{hi} \end{aligned}$$

$$i = 1, 2, \dots, N; m, n = 1, 2, \dots, M; k, l = 1, 2, \dots, K; h = 1, 2, \dots, H; t = 1, 2, \dots, T \quad (3.2)$$

donde D_{oit} representa la función distancia; y es el vector de *outputs* de la empresa i para el periodo t (mercancía general y granel); x es el vector de *inputs* de la empresa i para el periodo t (muelles, grúas y trabajadores); f corresponde a las variables de tiempo; d hace referencia a las variables ambientales de la empresa i para el periodo t (provincia, localización y refinería); $\alpha, \beta, \delta, \varphi, \psi$ son vectores de parámetros desconocidos.

La simetría de los parámetros establece que $\alpha_{mn} = \alpha_{nm}$; $\beta_{kl} = \beta_{lk}$.

La función distancia debe incorporar las restricciones exigidas por la homogeneidad de grado 1 en los *outputs* que establece lo siguiente:

$$\sum_{m=1}^M \alpha_m = 1; \sum_{m=1}^M \alpha_{mn} = 0; \sum_{m=1}^M \delta_{km} = 0 \quad (3.3)$$

Siguiendo la metodología de Lovell et al. (1994), en la que se normaliza la función distancia por uno de los *outputs* escogido de manera arbitraria, y aplicando el enfoque de fronteras estocásticas propuesto por Aigner et al. (1977) en el que las desviaciones con respecto a la frontera se concretan en un término de error se obtiene que:

¹² En adelante, translog (TL).

$$\begin{aligned}
 -Ln(y_{Mit}) = & \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m lny_{mit}^* + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} lny_{mit}^* lny_{nit}^* + \sum_{k=1}^K \beta_m lnx_{kit} \\
 & + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K \beta_{kl} lnx_{kit} lnx_{lit} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \delta_{km} lnx_{kit} lny_{mit}^* + \sum_{t=1}^T \varphi_t f_t + \sum_{h=1}^H \psi_{hit} d_{hit} \\
 & + v_{it} + u_{it}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

siendo $y_{mit}^* = y_{mit}/y_{Mit}$. Los sumatorios en los que figura el *output* M ahora se realizan hasta $M-1$, ya que cuando $y_{mit} = y_{Mit}$, el cociente y_{mit}^* resulta igual a la unidad y, por tanto, al aplicar logaritmos es cero.

El término de error está compuesto por dos elementos, uno simétrico que recoge el ruido estadístico (v_{it}) y otro asimétrico que refleja la ineficiencia (u_{it}). Puesto que la función distancia se estima con orientación *output*, el término de error es aditivo (Cuesta & Orea, 2002). El término (v_{it}) se supone independiente e idénticamente distribuido (*iid*) como una $N(0, \sigma_v^2)$ y representa los factores aleatorios que no se han tenido en cuenta por encontrarse fuera del control del puerto. Este término se distribuye independientemente de la ineficiencia técnica (u_{it}), variable aleatoria no negativa -de una sola cola- que se asume *iid* según una $N^+(\mu_{it}, \sigma_u^2)$, donde “+” indica truncamiento en cero.

Los primeros enfoques (Pitt & Lee, 1981; Kalirajan, 1981) que trataron de explicar las causas de la ineficiencia usaron una metodología en dos etapas: en la primera se estimaban los índices de eficiencia y en la segunda se regresaban estos índices sobre un conjunto de variables específicas de las empresas. Estos modelos no cumplen con el supuesto de que los efectos de ineficiencia se distribuyen independiente e idénticamente.

Para resolver esta cuestión, se desarrollaron modelos en los que los efectos de ineficiencia técnica se definen en función de los factores que se consideran que influyen en la misma y la estimación de todos los parámetros se realiza en una sola etapa. En esta línea, la metodología desarrollada por Battese & Coelli (1995) tiene la ventaja de que puede ser aplicada a datos de panel. Este enfoque define la ineficiencia técnica de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 u_{it} = & z_{it}\theta + w_{it} \\
 i = & 1,2, \dots, N; t = 1,2, \dots, T
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

donde z_{it} es el vector de variables que influyen en la eficiencia técnica (el tamaño del puerto y la especialización portuaria), y θ es el vector de parámetros a estimar. w_{it} es una variable aleatoria que se distribuye como una normal truncada con media cero y varianza σ^2 , cuyo punto de truncamiento es $-z_{it}\theta$.

Finalmente, la eficiencia técnica se obtiene a través de la inversa de la función distancia orientada a los *outputs*. Formalmente:

$$ET(x_{it}, y_{it}) = 1/D_{oit}(x_{it}, y_{it}) \quad (3.6)$$

3.4.2. Datos

Para estimar la función distancia se ha empleado un panel de datos compuesto por 27 puertos que representan a las 27 autoridades portuarias¹³ del SPE, durante el periodo 2001-2011 (ver Tabla 3.1).¹⁴ De cada autoridad portuaria se ha incluido el puerto que maneja más carga;¹⁵ entre todos los puertos representan el 94% de la carga del SPE. Esta información se ha obtenido de las Memorias Anuales de las autoridades portuarias y de los Informes de situación y actividad de Puertos del Estado.

Tabla 3.1. Puertos incluidos en la muestra

Autoridad Portuaria	Puerto
A Coruña	A Coruña
Alicante	Alicante
Almería	Almería
Avilés	Avilés
Bahía de Algeciras	B. Algeciras
Bahía de Cádiz	B. Cádiz
Barcelona	Barcelona
Bilbao	Bilbao
Cartagena	Cartagena
Castellón	Castellón
Ceuta	Ceuta
Ferrol-San Cibrao	Ferrol
Gijón	Gijón
Huelva	Huelva

Autoridad Portuaria	Puerto
Las Palmas	Las Palmas
Málaga	Málaga
Marín y Ría de Pontevedra	Marín
Melilla	Melilla
Baleares	Palma
Pasajes	Pasajes
Santa Cruz de Tenerife	S.C. Tenerife
Santander	Santander
Sevilla	Sevilla
Tarragona	Tarragona
Valencia	Valencia
Vigo	Vigo
Vilagarcía de Arousa	Vilagarcía

Fuente: Elaboración propia.

¹³ Aunque actualmente en España existen 28 autoridades portuarias, hasta 2004 el puerto de Motril perteneció a la Autoridad Portuaria de Almería-Motril. Dado que el estudio abarca el periodo 2001-2011, no se consideró su segregación.

¹⁴ En adelante, SPE hará referencia a los 27 puertos que forman la muestra.

¹⁵ Los puertos excluidos representan menos del 30% del tráfico del puerto elegido.

Puesto que el objetivo de este trabajo es analizar el servicio de carga y descarga en los puertos españoles, la unidad de análisis es el puerto, lo que supone agregar, para cada puerto, los datos correspondientes a las terminales en las que se efectúa la carga-descarga de la mercancía.

Productos y factores productivos

El proceso de carga y descarga difiere según el tipo de mercancía. Para capturar la dimensión multiproductiva de la manipulación de mercancías (Rodríguez-Álvarez et al., 2007; González & Trujillo, 2008; Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012; Rodríguez-Álvarez & Tovar, 2012; Díaz-Hernández et al., 2014; Tovar & Wall, 2015; Medal-Bartual et al., 2016) se han empleado dos variables representativas de la carga total: carga a granel (incluye tanto granel sólido como líquido) y mercancía general (abarca la mercancía contenerizada, la convencional y la pesca), ambas medidas en toneladas métricas, como es usual en los trabajos empíricos.

Los *inputs* se han medido a través de las variables siguientes. La infraestructura portuaria se ha aproximado mediante la longitud de los muelles de cada puerto (González & Trujillo, 2008; Bergantino & Musso, 2011; Medal-Bartual & Sala-Garrido, 2011; Yip et al., 2011; Bichou, 2013; Trujillo et al., 2013; Yuen et al. 2013; Pérez et al., 2016).

El factor capital se ha reflejado de diversas formas en la literatura empírica. Algunos autores han usado aproximaciones monetarias: valor neto del capital fijo (Cullinane & Song, 2003), precio del capital (Núñez-Sánchez et al., 2012), depreciación anual (Rodríguez-Álvarez & Tovar, 2012), el coste de los insumos (Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012). Otros estudios se han inclinado por medidas físicas: área de almacenamiento (So et al., 2007), número de puestos de atraque (Chang & Tovar, 2014) y longitud de los muelles (Bichou, 2011). En este trabajo se ha usado como aproximación del factor capital un indicador que refleja la capacidad de carga de las grúas, puesto que el servicio estudiado es la manipulación de mercancías. De acuerdo a los estudios previos (Cullinane et al., 2005b; Cheon et al., 2010; Yip et al., 2011; Bichou, 2013; Yuen et al., 2013) se ha construido un índice que es resultado del producto del número de grúas (mercancía general, contenedores y granel sólido) y la capacidad media de carga de cada una de estas, medida en toneladas.

Aproximar la mano de obra en el sector portuario no es una tarea fácil, ya que la información existente es escasa debido a la compleja estructura de la fuerza laboral portuaria. Al estar compuesta por diferentes tipos de empleados -a tiempo parcial o completo, gestionados por las autoridades portuarias, por empresas estibadoras o por sociedades de estiba- la recopilación de datos resulta complicada (González & Trujillo, 2008; Cheon et al., 2010).

Acceder al número de trabajadores de las autoridades portuarias cuando se está midiendo este servicio es relativamente sencillo (Estache et al., 2004; González & Trujillo, 2008; Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012; Tovar & Wall, 2015; Díaz-Hernández et al., 2014; Medal-Bartual et al., 2016), pero obtener esta información cuando se trata de medir el servicio de manipulación, esto es, trabajadores que realizan la carga y descarga de las mercancías, no es tan fácil. Por ello, en muchos estudios se ha empleado el número de grúas como aproximación al número de trabajadores argumentando un elevado coeficiente de correlación entre ambos (De Neufville & Tsunokawa, 1981; Noteboom et al., 2000; Cullinane et al., 2005b; Tongzon & Heng, 2005; Cullinane & Song, 2006; So et al., 2007; Cheon et al., 2010; Trujillo et al. 2013; Yuen et al., 2013).

Como innovación, en este estudio se ha utilizado el número de estibadores de cada puerto, incluyendo tanto los que están contratados por las empresas estibadoras como los que pertenecen a las Sociedades de Estiba, para reflejar la mano de obra del servicio de manipulación de mercancías. Pero esto ha tenido un coste: el periodo temporal solo llega hasta el año 2011. La Ley 33/2010 estableció un modelo de sociedad de gestión de trabajadores de iniciativa privada. La única función que quedó para las autoridades portuarias es la supervisión de la prestación del servicio. Las nuevas empresas privadas, amparándose en la protección de datos y en normas internas, no facilitaron información más allá de 2011. La información obtenida hasta ese año fue aportada por el organismo público Puertos del Estado.

A continuación, se ofrece una descripción de estas variables durante el periodo 2001-2011. En media de cada año, el SPE atendió un total de 383 millones de toneladas de mercancía, de los cuales 222 correspondieron a mercancía a granel y el resto a carga general, cuyas tasas de crecimiento anual fueron del 0,4% y 7%, respectivamente. Para ello, el SPE dispuso de 197.984 metros de muelle, grúas con capacidad de 12.701 toneladas y 5.986 estibadores.

A lo largo de la década estudiada, los puertos españoles realizaron un importante esfuerzo para dar respuesta a las necesidades de las navieras que, con el fin de aprovechar las economías de escala, han ido aumentando el tamaño de los buques (Camarero & González, 2006). De esta manera, la capacidad de atraque creció en 46.882 metros, la capacidad de carga de las grúas aumentó en 3.285 toneladas y el número de estibadores aumentó en 1.570 trabajadores, experimentando las jornadas de trabajo un crecimiento anual acumulado del 5%.

Como se puede observar en la Tabla 3.2 un puerto medio manejó 14 millones de toneladas, de los cuales 8 millones correspondieron a carga a granel (líquido y sólido) y 6 millones a mercancía general y contó con 7.333 metros de muelle, grúas con capacidad de 470 toneladas y 222 estibadores.

Tabla 3.2. Medidas descriptivas del SPE (2001-2011)

Variable	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Granel (miles de toneladas)	8.209	8.765	102	34.221
Mercancía general ^a (miles de toneladas)	5.978	10.918	131	55.832
Muelles (metros)	7.333	4.345	1.200	19.023
Grúas (toneladas)	470	563	7	3.013
Estibadores (número)	222	327	5	1.565

^aIncluye la pesca.

Fuente: Puertos del Estado. Elaboración propia.

En términos generales, los puertos que más granel movieron fueron Tarragona, Bilbao y Algeciras y los que más carga general manejaron fueron Algeciras, Valencia y Barcelona. Este mayor movimiento de carga tiene su reflejo en los factores usados: los puertos con mayor dotación de muelles son Barcelona, Bilbao y Algeciras; los de grúas con mayor capacidad de carga son Algeciras, Barcelona y Valencia, que son los puertos donde se mueve mayor cantidad de contenedores, buena parte de ellos en tránsito internacional; estos mismos puertos son los que emplearon más estibadores portuarios, debido a que este proceso de manipulación de la carga es más intensivo en mano de obra que el granel. En el lado opuesto, los puertos con menos tráfico fueron Melilla, Almería y Vilagarcía (granel) y Vilagarcía, Huelva y Málaga (carga general). Por este motivo, son también los puertos que menos cantidad de factores productivos emplean.

Variables ambientales

Las variables ambientales recogen aspectos no controlables por la empresa. Es importante incluirlas en la especificación del modelo porque permiten depurar los resultados de eficiencia, evitando así calificar como ineficientes a puertos que en realidad se enfrentan a entornos distintos. En este

trabajo, se han utilizado variables cualitativas, sin orden de magnitud entre ellas, que dividen la muestra en submuestras que responden a distintos entornos y productividades (Dios-Palomares et al., 2006). En la Tabla 3.3 se ofrece una descripción de las variables ambientales incluidas para recoger la heterogeneidad no observada.

En primer lugar, se definió la provincia en la que se localizan los puertos para reflejar diferencias que, desde el punto de vista económico, social e institucional, pueden darse entre ellas, y que pueden afectar a las condiciones en las que se produce el manejo de la carga. Según Tongzon (1995), la actividad económica de la región en la que se ubica el puerto constituye un determinante del *output* portuario.

En segundo lugar, se incluyó la localización en términos del mar u océano en el que se encuentran localizados los puertos. González-Laxe (2012b) afirma que la ubicación geográfica es uno de los elementos que determina el interés de las instalaciones portuarias y concluye que los mejores puertos, en términos de crecimiento del tráfico, se encuentran en la fachada mediterránea. Estos puertos están integrados en las principales rutas marítimas, entre otras cuestiones por la relevancia de su *hinterland* y por la consolidación del transbordo de contenedores, mientras que los puertos del Cantábrico y Atlántico encuentran más dificultad para formar parte de las principales rutas marítimas (salvo los puertos canarios) y ejercer de motor económico a las regiones.

Por último, teniendo en cuenta que el proceso de carga-descarga del granel líquido es muy rápido y sus necesidades de infraestructura y de mano de obra son inferiores al del resto de cargas, se distinguió entre los puertos que cuentan con refinerías y los que no. Además, los puertos con refinerías poseen un tráfico de granel líquido muy superior al del resto de puertos, afectando así a su carga total (González & Trujillo, 2008).

Tabla 3.3. Variables ambientales

Variable	Tipo	Descripción
Provincia	<i>Dummy</i>	A Coruña, Alicante, Almería, Asturias, Baleares, Barcelona, Cádiz, Cantabria, Castellón, Ceuta, Guipúzcoa, Huelva, Las Palmas, Málaga, Melilla, Murcia, Pontevedra, Santa Cruz de Tenerife, Sevilla, Tarragona, Valencia y Vizcaya
Localización	<i>Dummy</i>	Atlántico, Cantábrico y Mediterráneo
Refinería	<i>Dummy</i>	A Coruña, Bahía de Algeciras, Bilbao, Cartagena, Castellón, Huelva, Santa Cruz de Tenerife y Tarragona

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, para recoger factores variantes en el tiempo se incluyó una variable *dummy* desde el año 2001 hasta el 2011.

Factores de ineficiencia

Resulta relevante estudiar por qué unos puertos son más eficientes que otros. En la Tabla 3.4 se presentan las variables empleadas para explicar la ineficiencia técnica: el tamaño del puerto y su especialización.

La revisión de la literatura mostró evidencias de que los puertos de mayor tamaño registran mayores niveles de eficiencia. Concretamente y con esta finalidad (aunque en un modelo en dos etapas), Coto-Millán et al. (2000) utilizaron la longitud de los muelles. Esta es la variable empleada en este trabajo para medir la contribución del tamaño de los puertos a la ineficiencia.

Para González-Laxe & Novo-Corti (2012, 2016), la especialización portuaria responde a la búsqueda de competitividad y al aprovechamiento de las economías de escala. En este trabajo se ha analizado la implicación que tiene sobre la ineficiencia el hecho de que un puerto esté especializado en un tipo de carga frente al hecho de no estar especializado, atendiendo a los diferentes tipos de carga (granel sólido, granel líquido, mercancía contenerizada y mercancía convencional). Se considera que un puerto está especializado en un tipo de mercancía cuando el volumen de esa mercancía es superior a la mitad de la carga recibida en dicho puerto a lo largo del periodo de estudio. Por tanto, la especialización es constante en el tiempo y puede darse el caso de que algunos puertos no estén especializados. Para cada tipo de tráfico se construye una variable *dummy* que toma valor 1 para todos los puertos especializados en un tipo de carga y cero en el resto.

Tabla 3.4. Variables de ineficiencia

Variable	Tipo	Descripción
Especialización	<i>Dummy</i>	Granel sólido: Almería, Avilés, Ferrol, Gijón, Santander y Sevilla
		Granel líquido: A Coruña, Bilbao, Cartagena, Castellón, Huelva, Santa Cruz de Tenerife y Tarragona
		Mercancía contenerizada: Bahía de Algeciras, Las Palmas, Valencia y Vigo
		Mercancía general: Ceuta, Melilla y Palma
		Sin especialización: Alicante, Bahía de Cádiz, Barcelona, Málaga, Marín, Pasajes y Vilagarcía
Tamaño	Numérica	Muelles (metros)

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Resultados y discusión

Condiciones de regularidad y análisis de los coeficientes

La función distancia estimada cumple con las propiedades teóricas esperadas. Los parámetros de primer orden presentan el signo esperado y son estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 99% (véase Tabla 3.5). Los parámetros de los *outputs* son positivos, reflejando que el valor de la función distancia se incrementa cuando aumenta la producción, y los parámetros de los *inputs* son negativos, mostrando que, para un nivel de producción dado, un aumento de cualquier factor productivo conlleva una reducción del valor de la distancia.

Los coeficientes de las *dummies* de tiempo reflejan acontecimientos que repercuten de igual manera en todo el SPE y que varían en el tiempo. Como se puede observar en la Tabla 3.5, los periodos que presentaron diferencias significativas con respecto al año 2011 (año omitido) fueron 2001-2003, 2006-2008 y 2009-2010. Mientras que en el segundo periodo la distancia a la frontera se redujo, en el primero y en el tercero ocurrió lo contrario. Estos coeficientes también indican efectos temporales y sus variaciones durante el periodo suponen un desplazamiento de la frontera, ofreciendo una medida del cambio tecnológico (CT) calculado a través de la siguiente expresión:

$$CT_{t,t-1} = \theta_t - \theta_{t-1} \quad (3.7)$$

Existe progreso tecnológico cuando el valor del cambio tecnológico es negativo, produciendo un desplazamiento de la frontera hacia fuera. En consonancia con otros estudios (González & Trujillo, 2008; Núñez-Sánchez & Coto-Millán, 2012; Rodríguez-Álvarez & Tovar, 2012; Tovar & Wall, 2015) en el SPE se produjo progreso tecnológico en los periodos 2001-2007 y 2009-2011, siendo el mayor en 2010-2011 (8%) seguido de 2004-2005 (7%) y 2007-2008 (6%). Los resultados negativos del periodo 2007-2009 podrían responder al ciclo económico.

En ocasiones, el cambio tecnológico puede relacionarse con modificaciones en el ámbito legislativo (González & Trujillo, 2008). La mejora tecnológica obtenida está en consonancia con el aumento de la capacidad de las grúas y con las reformas llevadas a cabo en el periodo que tuvieron como objetivos principales potenciar la participación privada en la financiación, construcción y explotación de las instalaciones portuarias y otorgar mayor autonomía de gestión económico-financiera a las autoridades portuarias.

Los coeficientes de las *dummies* de localización muestran que los puertos localizados en el Océano Atlántico, con respecto a los ubicados en el mar Cantábrico y Mediterráneo (localización omitida), están más distanciados de la frontera. Se confirma, por tanto, que la ubicación del puerto repercute en el nivel de carga portuaria (Tongzon, 1995).

El coeficiente de la *dummy* de refinería indica que los puertos con refinerías se encuentran más cercanos a la frontera, resultado que coincide con el de González & Trujillo (2008). Con la inclusión de esta variable se demuestra que las diferencias de tráfico se encuentran relacionadas con la existencia de industrias de este tipo. Según Rodríguez-Dapena (2007), el tráfico de granel líquido está muy vinculado a las instalaciones de almacenamiento y de transformación; si tales instalaciones se ubican próximas al recinto portuario, el granel líquido se vuelve cautivo.

Tabla 3.5. Estimación de la función distancia

Variable	Coefficiente	Desviación estándar
Constante	-0,91	0,11
L (Mercancía general)	0,55*	0,03
L (Muelles)	-0,21*	0,07
L (Grúas)	-0,11*	0,04
L (Estibadores)	-0,19*	0,06
L (Mercancía general) * L (Mercancía general)	0,12*	0,01
L (Muelles) * L (Muelles)	-0,40*	0,17
L (Grúas) * L (Grúas)	-0,13*	0,04
L (Estibadores) * L (Estibadores)	-0,07***	0,08
L (Mercancía general) * L (Muelles)	-0,04	0,03
L (Mercancía general) * L (Grúas)	-0,08	0,03
L (Mercancía general) * L (Estibadores)	-0,04**	0,03
L (Muelles) * L (Grúas)	0,04**	0,07
L (Muelles) * L (Estibadores)	0,15**	0,08
L (Grúas) * L (Estibadores)	0,09	0,06
2001	0,12*	0,04
2002	0,10*	0,04
2003	0,07**	0,03
2004	0,03	0,03
2005	-0,04	0,03
2006	-0,10*	0,03
2007	-0,12*	0,03
2008	-0,06**	0,03
2009	0,06**	0,03
2010	0,05**	0,02
A Coruña	-0,52*	0,15
Alicante	1,02*	0,14
Almería	1,48*	0,15
Asturias	0,38*	0,12
Baleares	0,62*	0,17

(continúa)

Variable	Coefficiente	Desviación estándar
Barcelona	-0,24***	0,13
Cádiz	-0,45*	0,09
Cantabria	1,00*	0,11
Castellón	0,78*	0,09
Ceuta	-0,84*	0,25
Guipúzcoa	0,90*	0,15
Huelva	-0,85*	0,17
Las Palmas	-0,94*	0,14
Málaga	0,96*	0,13
Melilla	-0,15	0,20
Murcia	0,48*	0,14
Pontevedra	-0,14	0,11
SC. Tenerife	-1,02*	0,15
Sevilla	-0,47*	0,13
Tarragona	0,06	0,06
Valencia	-0,04	0,14
Atlántico	1,40*	0,14
Refinería	-0,21*	0,12

* Significativo al 1%; ** Significativo al 5%; *** Significativo al 10%.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 3.6, las variables que explican la ineficiencia, el tamaño y la especialización, poseen signo negativo y son significativamente distintas de cero, lo que indica la influencia de ambos factores en la ineficiencia técnica. De este resultado se desprende que ser un puerto grande y estar especializado reduce la ineficiencia. En lo que respecta al tamaño, este resultado coincide con otros trabajos (Turner et al., 2004; Tongzon & Heng 2005; Sohn & Jung, 2009) aunque en ellos esta variable se midió a través del volumen de tráfico.

Tabla 3.6. Estimación de la función distancia. Factores de ineficiencia técnica

Variable	Coefficiente	Desviación estándar
Constante	0,76*	0,28
Especialización granel sólido	-0,44***	0,27
Especialización granel líquido	-3,83***	2,06
Especialización contenedores	-4,48**	2,28
Especialización mercancía general convencional ^a	-4,12***	2,48
Tamaño	-1,71**	0,78
Gamma	0,98	

^a Incluye la pesca

* Significativo al 1%; ** Significativo al 5%; *** Significativo al 10%.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis global de la eficiencia

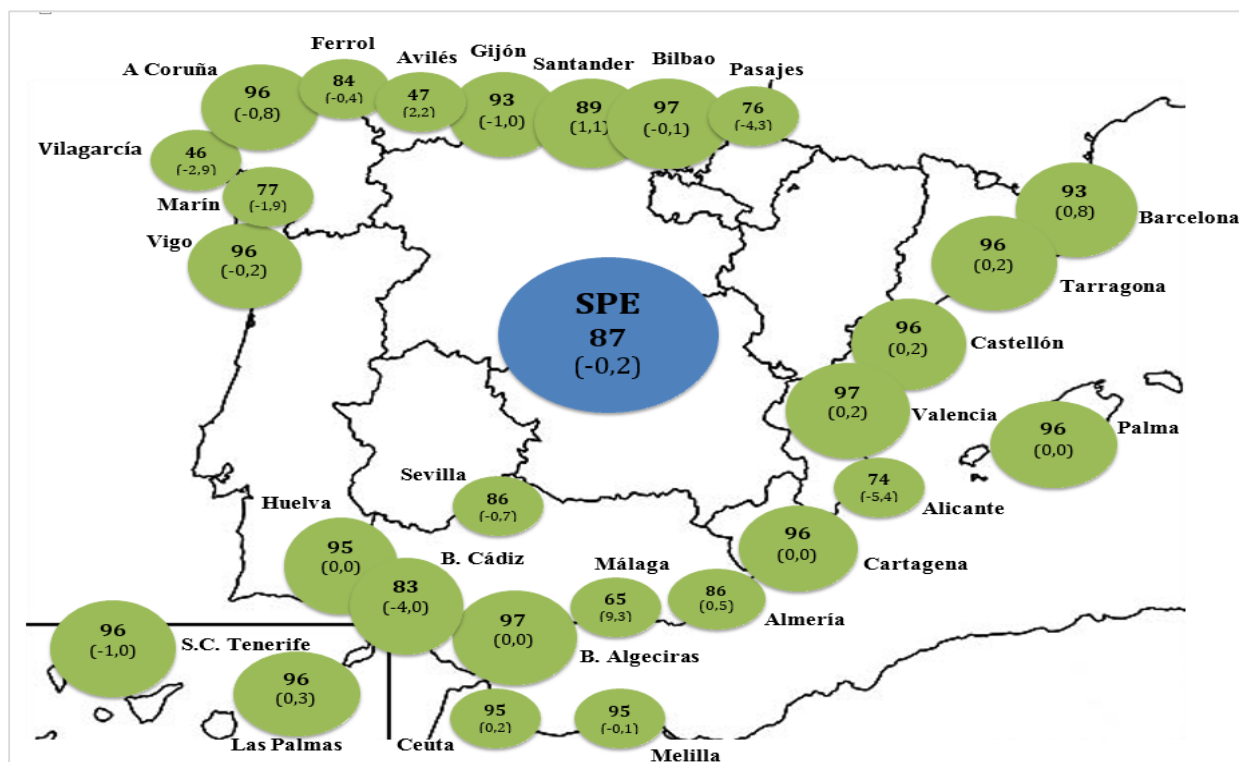
La eficiencia media del SPE se situó en torno al 87% en el periodo 2001-2011 (véase Figura 3.2), valor similar al de otros trabajos recientes (González & Trujillo, 2008; Núñez-Sánchez & Coto-

Millán, 2012; Núñez-Sánchez et al., 2012; Rodríguez-Álvarez & Tovar, 2012; Tovar & Wall, 2015; Medal-Bartual et al., 2016). Durante el periodo, la tasa de crecimiento anual acumulado del SPE en su conjunto fue del -0,2%.

Hasta 2007, la eficiencia técnica se mantuvo estable en torno al 88%. A partir de ahí, el ciclo económico explica el descenso que dura hasta 2009, año en que comienza a recuperarse, aunque sin llegar al nivel de eficiencia del inicio del periodo. Un resultado similar puede encontrarse en Medal-Bartual et al. (2016) para el caso de España y Pérez et al. (2016) en América Latina y el Caribe.

En la Figura 3.2 se muestra la eficiencia técnica y, entre paréntesis, la tasa de crecimiento anual acumulada de cada puerto en el periodo 2001-2011. Como puede observarse, el 60% de los puertos tuvieron una eficiencia superior al 90%. Estos puertos mueven el 89% del tráfico portuario total y su nivel de eficiencia, en la mayoría de los casos, se ha mantenido estable a lo largo del periodo. Los puertos menos eficientes son Avilés y Vilagarcía (47% y 46%, respectivamente); juntos suponen tan solo un 1,5% del tráfico total.

Figura 3.2. Eficiencia media y tasa de crecimiento anual acumulada, 2001-2011 (%)



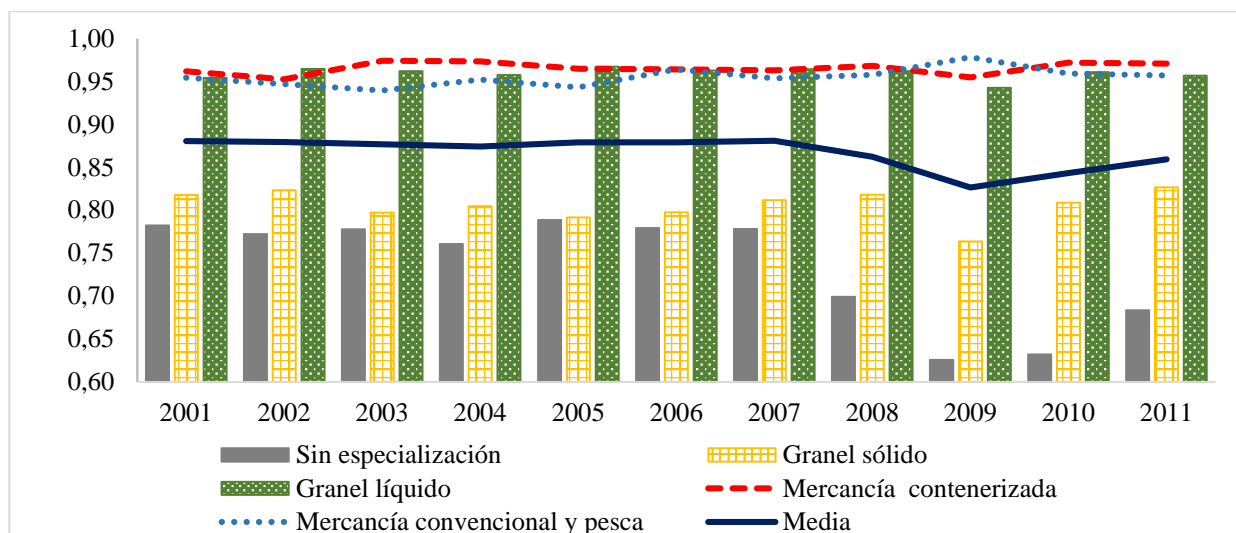
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de los factores de ineficiencia

A continuación, se analizan los resultados atendiendo a los factores que condicionan la ineficiencia: especialización y tamaño portuario. De la Tabla 3.6 se desprende que ambas variables permiten explicar la ineficiencia de los principales puertos que integran el SPE.

En la Figura 3.3 se observa que, durante el periodo 2001-2011, los puertos más eficientes fueron los especializados en mercancía contenerizada (97%), seguidos de los especializados en mercancía general y en granel líquido (96%) y algo más distanciados se encuentran los puertos especializados en granel sólido (81%). Los puertos no especializados son los menos eficientes (73%).

Figura 3.3. Evolución eficiencia media del SPE por especialización (2001-2011)



Fuente: Elaboración propia.

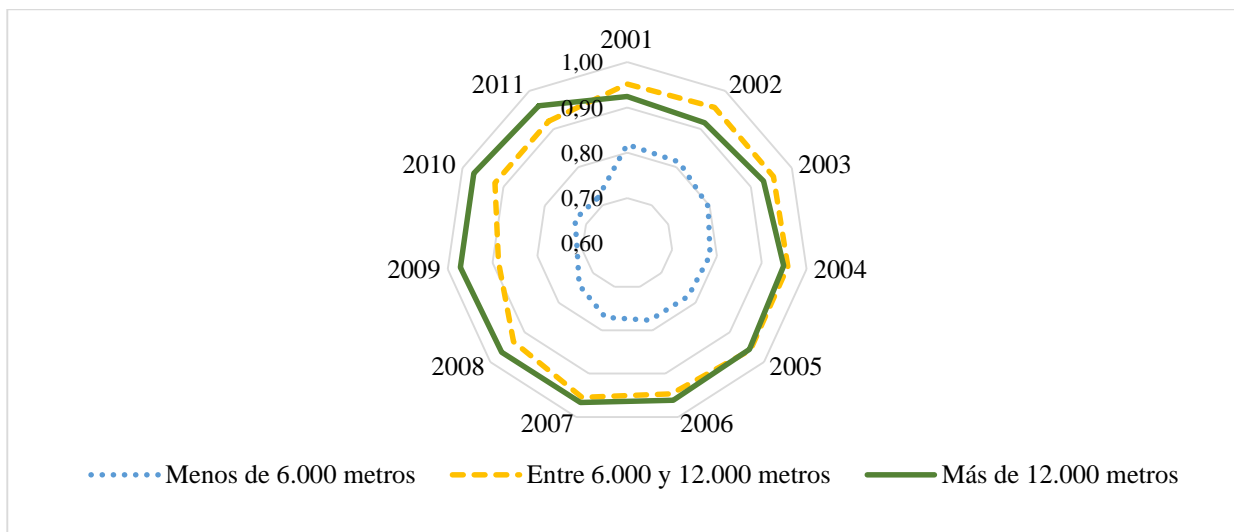
La explicación a estas diferencias reside en la propia naturaleza de las mercancías a manipular en cada caso. Los puertos de contenedores cuentan con más muelles, capacidad de grúas y estibadores que el resto y su tráfico se encuentra en expansión, en respuesta a las transformaciones de la industria portuaria: la atención a buques de quinta generación (portacontenedores *post panamax*) requiere una alta mecanización y trabajadores cualificados. Los puertos especializados en granel también necesitan una infraestructura determinada. La manipulación de granel sólido se realiza en terminales específicas que cuentan con medios mecánicos especializados. Los muelles donde se carga-descarga el granel líquido tienen que contar con un sistema de tuberías, aunque los requerimientos de medios mecánicos y humanos son menores que los que se emplean en otro tipo de carga. Por su parte, los

puertos no especializados, están obligados a disponer de muelles y medios mecánicos de muy diverso tipo para poder atender a un tráfico más variado.

Excepto en el año 2009, en todos los tipos de puerto, la eficiencia se ha mantenido prácticamente constante durante el periodo, salvo en los puertos no especializados, donde la eficiencia cayó un 1,3% en el periodo 2001-2011. El descenso en la eficiencia en el año 2009 alcanza el -7% en los puertos especializados en granel sólido, el -2% en los principales puertos de granel líquido y el -1% en los puertos de contenedores. En los puertos sin especialización, el descenso comienza a producirse desde un año antes, cayendo la eficiencia a una tasa del 10% durante dos años consecutivos. En los puertos especializados en mercancía convencional, el declive llegó un año más tarde (-2%). Los puertos superaron el bache impuesto por la crisis internacional recuperando en 2011 los niveles de eficiencia previos.

Otro de los elementos que condiciona la ineficiencia es la dimensión de los puertos. Concretamente, los puertos mayores fueron más eficientes que los más pequeños (Figura 3.4) En términos medios, los puertos más eficientes fueron los que contaron con más de 12.000 metros de muelle (95%), seguidos de los puertos con entre 12.000 y 6.000 metros de muelle (94%) y de los menores de 6.000 metros (77%). Desde 2001 hasta 2005 los puertos más eficientes fueron los de tamaño mediano y, a partir de ese año y hasta el final del periodo, los puertos mayores fueron los más eficientes.

El principal problema al que se enfrentan los puertos de menor tamaño es que, en la mayoría de los casos, están situados junto a puertos grandes -muchas veces altamente especializados- con los que comparten *hinterland* y mercado doméstico. La competencia que se establece en estas condiciones favorece a los puertos más especializados. A ello se unen las ventajas derivadas de la mecanización que conlleva la especialización.

Figura 3.4. Eficiencia por dimensión y año

Fuente: Elaboración propia.

Los puertos pequeños no solo son más ineficientes, sino que, además su eficiencia ha evolucionado peor que en el resto de los puertos, registrándose un descenso del -1,28% en el periodo completo, frente al crecimiento cercano a cero experimentado por el resto de puertos. Los puertos pequeños y los de tamaño medio fueron los más perjudicados por la crisis de 2008, con tasas de decrecimiento del -4% y -5%, respectivamente. Frente a ello, en los puertos grandes la eficiencia aumentó un 1%. Finalmente, merece la pena destacar que 5 de los 7 puertos sin especialización se encuentran entre los de menor tamaño, por lo que sufren los efectos negativos por partida doble.

Combinando ambos factores (tamaño y especialización) y agrupando la eficiencia en tres tramos resulta que en el grupo de puertos con eficiencia superior al 90% (16 puertos) predominan puertos especializados en granel líquido y contenedores, y tamaño grande o mediano. Con niveles de eficiencia entre 80-90% (5 puertos) destacan puertos especializados en granel sólido y pequeños. Y los 6 puertos con eficiencia por debajo del 80% son puertos pequeños, la mayoría sin especialización.

3.5. Conclusiones

En este trabajo se han analizado, desde la óptica de la eficiencia técnica durante el periodo 2001-2011, 27 puertos que, en su conjunto, manejan el 94% de la carga del Sistema Portuario estatal en España. La novedad de este trabajo reside en dos aspectos. Por un lado, esta investigación se ha centrado en determinar la importancia del tamaño del puerto y la especialización portuaria como

factores que afectan a la ineficiencia. Por otra parte, se han utilizado los estibadores portuarios implicados en la manipulación de la mercancía para medir el factor trabajo de este servicio. En general, acceder a este tipo de dato resulta difícil y, como se comentó anteriormente, en otros trabajos se utiliza el número de grúas como *proxy* del número de trabajadores, argumentando una relación fija entre ambos recursos.

La eficiencia se estimó empleando una función distancia estocástica orientada a los *outputs*, que considera toda la mercancía movida en los puertos, clasificada en dos categorías: granel y carga general, y tres factores productivos: muelles, grúas y trabajadores. Además, incluye variables ambientales para recoger la heterogeneidad no observable. Para el periodo 2001-2011, la eficiencia media del servicio de manipulación de mercancías del SPE es del 87%.

De este trabajo se desprende que la especialización de los puertos es un factor que reduce la ineficiencia técnica. Los puertos no especializados fueron los únicos que presentaron una tasa negativa anual acumulada en el periodo completo y los más castigados por la crisis financiera internacional.

Una conclusión de este resultado es incentivar la especialización portuaria, ya que la alta mecanización de los puertos más especializados permite reducir los tiempos de transferencia de carga, repercutiendo positivamente en la eficiencia portuaria. No obstante, no todos los puertos pueden especializarse, bien porque no tienen demanda suficiente para ello, porque tienen un mercado doméstico reducido o porque comparten *hinterland* con puertos más grandes. Los resultados sugieren que la estrategia portuaria a seguir es la especialización de los puertos donde sea posible y la posterior colaboración entre puertos con especializaciones diferentes y con los no especializados.

El tamaño del puerto también se configura como fuente de ineficiencia. En términos medios, frente a una eficiencia del 77% para los puertos más pequeños, el resto de puertos superaron el 94%. Al mismo tiempo, los puertos de mayor tamaño fueron los menos perjudicados por el ciclo económico.

Obviamente, la estrategia para todos los puertos no puede ser crecer para convertirse en puertos grandes y explotar economías de escala pues, como se ha mencionado, algunos puertos se enfrentan a demandas reducidas. Por tanto, nuevamente la recomendación es una estrategia proactiva de colaboración y cooperación para reducir la ineficiencia de los puertos pequeños. Además, establecer

un marco de redes de colaboración y cooperación fortalece la capacidad de reacción de los puertos ante situaciones adversas como puede ser una caída exógena del tráfico.

Desde un punto de política económica se sugiere profundizar en una planificación transversal, esto es, en línea con Zhuang et al., (2014) se propone que las autoridades portuarias más que incrementar la regulación, lo que deben hacer es prestar asistencia para favorecer la coordinación entre puertos con la finalidad de desarrollar el conjunto de las infraestructuras. Algunas acciones concretas que pueden llevarse a cabo son las siguientes: desarrollar estrategias de marketing común, de posiciones comunes en foros internacionales, planificar las inversiones y las expansiones desde una óptica regional y mejorar la información con buenas predicciones de demanda. En definitiva y siguiendo a Brooks et al. (2010) cabe concluir que la oportunidad de crecimiento para los puertos pequeños y los no especializados pasa por la cooperación.

Por último, un debate permanente en la industria portuaria es cómo abordar la reforma del modelo de gestión de los trabajos de estiba. A finales de 2014, el Tribunal de Justicia de la Unión Europea declaró la normativa española ilegal por vulnerar el derecho de libre establecimiento. En la actualidad, el modelo de la estiba impide que las empresas estibadoras pueden contratar libremente a sus trabajadores y obliga a estas a adquirir una participación en el capital de las SAGEPs, las cuales se encargan de facilitar la mano de obra necesaria siguiendo las condiciones fijadas por un acuerdo marco. A esta sentencia¹⁶ se une la emitida, en 2009, por parte de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. En ella, se resuelve sancionar a la Asociación Nacional de Empresas Estibadoras y Consignatarias de Buques, entre otros entes, por acuerdo anticompetitivo para impedir o dificultar a otras empresas el acceso al mercado de los servicios portuarios complementarios. En España, aunque no se ha procedido a la liberalización completa de este sector, se han producido algunas modificaciones tendentes a la privatización de las sociedades de estiba. Como línea futura de investigación sería interesante analizar el efecto de la nueva normativa de la estiba sobre la eficiencia portuaria. Ya ha pasado tiempo suficiente para hacer la valoración, solo faltan los datos que, de momento, las empresas no han suministrado.

¹⁶ Expediente de oficio 2805/07.

PARTE III

GENERACIÓN DE RESIDUOS DE BUQUES

Capítulo 4 Determinantes de la descarga de residuos procedentes de buques. El Puerto de Las Palmas como caso de estudio.

4.1. Introducción

Las operaciones normales del transporte marítimo son responsables de más del 70% del petróleo que aparece en el mar (Collins, 1995). Se estima que la basura marina supone alrededor de 6 millones de toneladas anuales y que diariamente se tiran al mar alrededor de 8 millones de piezas de las basuras, de las cuales 5 millones proceden de los buques, intencionadamente o no. Estas basuras se acumulan en los fondos marinos y también quedan flotando en el mar, llegando incluso a las playas. Cerca del 70% de la basura vertida en el Mar del Norte y en aguas australianas termina en el fondo marino y aproximadamente un 15% queda flotando en el mar y cerca de las costas (UNEP, 2005). Esto tiene un claro impacto en materia de salud humana, flora y fauna del medio marino y también económico, no solo en lo que respecta a la pérdida de recursos marinos y al coste de la limpieza, sino en la medida en que afecta al turismo de las zonas costeras.

Las primeras acciones llevadas a cabo por organismos internacionales para prevenir los problemas de contaminación de los mares¹⁷ se produjeron en los años 50 y tuvieron su origen en los vertidos de productos oleosos procedentes de accidentes de buques. En la actualidad, el crecimiento del comercio internacional, del transporte marítimo y del tamaño de los buques, así como el desarrollo de nuevos sectores de la industria marítima, como por ejemplo los cruceros, han producido un incremento de la generación de residuos, poniendo de manifiesto la necesidad de continuar llevando a cabo acciones en favor de la conservación del medio marino (Butt, 2007; Georgakellos, 2007; Zuin et al., 2009).

Tras el Convenio OILPOL 54, primer instrumento multilateral para reducir la contaminación de las aguas por hidrocarburos, se han adoptado y aprobado diferentes acuerdos internacionales y normas legales en un intento de avanzar en la prevención de la contaminación del medio marino. Es importante que las acciones propuestas no sean onerosas en tiempo ni en costes, pues de lo contrario se generarían incentivos perversos que acabarían produciendo vertidos ilegales.

¹⁷ Según el Grupo de expertos sobre los aspectos científicos de la protección del medio marino (GESAMP), la contaminación marina es la introducción por parte del hombre de sustancias o energías en el medio marino, tanto directa como indirectamente, que producen efectos nocivos que dañan los recursos vivos, ponen en peligro la salud humana, obstaculizan las actividades marinas, deterioran la calidad del agua de mar y reducen los servicios.

El convenio internacional más importante en materia de prevención de la contaminación producida por los buques, ya sea de los mares o de la atmósfera, es el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, modificado por el Protocolo de 1978 y por el Protocolo de 1997 (MARPOL 73/78), firmados por países que representan más del 90% de la flota mundial. Este convenio regula la autorización de descargas de desechos en el medio marino y dispone que los países garantizarán que los puertos cuenten con instalaciones de recepción adecuadas y con capacidad suficiente. La competitividad del transporte marítimo, que es el modo de transporte más respetuoso con el medio ambiente, depende, entre otros factores, de la rapidez con que se efectúen las operaciones en puerto. En este sentido, este convenio prevé que la descarga de residuos se realice sin generar demoras innecesarias a los buques, para no incentivar descargas ilegales. Tanto es así que se establecen indemnizaciones por demoras innecesarias.

La Unión Europea también insiste en que la reducción de la contaminación de los mares puede lograrse mejorando la disponibilidad y el uso de las instalaciones receptoras de desechos. En este sentido, la Directiva 2000/59/EC establece que todos los buques que realizan escala en puertos europeos están obligados a descargar los residuos que llevan a bordo, salvo que demuestren que disponen de capacidad para almacenarlos hasta el siguiente puerto de escala. Bajo el principio “quien contamina paga”, los buques tienen que contribuir a los costes de las instalaciones creadas para la recepción de estos residuos a través del pago de una tarifa. Todos los buques que hacen escala en un puerto europeo están obligados a pagar la tarifa, con independencia del uso real que hagan de las instalaciones, lo que disminuye el incentivo económico de la descarga en el mar.

Esta Directiva deja abierto el sistema tarifario (tipo de tarifa, base para su aplicación, reducciones, etc.) para que los países miembros lo definan de acuerdo con sus legislaciones nacionales. Ello ha conducido a una variedad de regímenes tarifarios, no solo en lo relativo a la tipología de la tarifa (directa o indirecta) sino a los elementos utilizados como base de la tarifa (tamaño y tipo de buque, potencia del motor, personas a bordo, entre otros). Parece pues que la mayoría de los puertos, más que crear un nuevo sistema tarifario más apropiado a los objetivos medioambientales, han aplicado la Directiva tratando de modificar lo menos posible su legislación nacional previa (Ohlenschlager & Gordiani, 2012). La diversidad tarifaria genera varios problemas. En primer lugar, conduce a distorsiones en la competencia a nivel europeo (De Langen & Nijdam, 2008). En segundo lugar, produce falta de transparencia en la aplicación de los sistemas tarifarios (EC, 2015). En tercer lugar, dificulta la tarea de determinar si las nuevas tarifas han alcanzado el objetivo de reducir las descargas

de residuos al mar (Ohlenschlager & Gordiani, 2012). Todo ello evidencia que, actualmente, no existe un modelo óptimo para el cálculo de la tarifa del servicio de recepción de residuos de buques (Deja, 2013).

Un paso previo a la determinación del sistema tarifario óptimo debería ser el estudio de los factores que inciden la determinación de cada uno de los residuos de los buques. En este sentido, el objetivo de este trabajo reside en analizar cuáles son los factores que determinan el volumen de descarga de los residuos de los buques en puerto, con la finalidad de comprobar si los indicadores utilizados para definir las tarifas son los más apropiados. Para ello, se analiza el grado de implicación en la generación de residuos de aspectos relacionados con la tecnología del buque, con la carga, con las personas a bordo de los buques y con la ruta realizada. El análisis empírico se aplica a los buques que realizaron escalas en el Puerto de Las Palmas en el año 2014.

Para responder a estas cuestiones, el capítulo se organiza de la siguiente manera. Después de esta introducción, en la Sección 4.2 se describe el marco normativo que regula el servicio de recepción de desechos generados por los buques. En la Sección 4.3 se exponen las conclusiones más relevantes extraídas de la literatura sobre los criterios empleados para determinar las tarifas a aplicar por la retirada de los residuos. A continuación, en la Sección 4.4, se presentan la metodología, los datos y los resultados de la aplicación empírica. Por último, se exponen las principales conclusiones.

4.2. Servicio de recepción de desechos generados por buques

4.2.1. Regulación del servicio

El primer instrumento multilateral acordado para reducir la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos fue el Convenio OILPOL 54, que se centró en las descargas relativas a la operativa de los buques tanque petroleros y en las aguas oleosas de las salas de máquinas de todos los buques. El accidente del “Torrey Canyon”,¹⁸ uno de los mayores desastres medioambientales de la historia, puso de relieve la gravedad de estos hechos y provocó la formación de un Comité Jurídico especial dentro

¹⁸ En 1967, el Torrey Canyon, primer superpetrolero capaz de transportar 120.000 toneladas de petróleo, encalló en un arrecife del Archipiélago de Scilly (al sur de la costa de Inglaterra), quedando abiertos seis de sus tanques. Con una marea negra de 118.000 toneladas de crudo, las labores de limpieza, por desconocimiento o por falta de experiencia, empeoraron la situación. Ante el exceso de detergente empleado, la marina británica arrojó gasolina sobre el vertido de petróleo y, a continuación, lo bombardeó.

de la *International Maritime Organization* (IMO), la modificación de este convenio y la adopción de otros acuerdos.

En 1973, la Conferencia internacional sobre contaminación marina aprobó el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques y, unos años más tarde, la Conferencia internacional sobre seguridad de los buques tanque y prevención de la contaminación lo modificó a través del Protocolo de 1978. El Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques de 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (conocido como MARPOL 73/78) comenzó con cinco anexos en los que se establecen reglas aplicables a las diferentes fuentes de contaminación ocasionadas por buques. Actualmente y tras el Protocolo de 1997, las fuentes de contaminación contempladas en este convenio son seis (véase Tabla 4.1). Los Estados Parte tienen que aceptar los Anexos I y II, pero los otros anexos son voluntarios.

Tabla 4.1. Anexos del Convenio MARPOL 73/78

Anexo	Materia	Año
I	Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos	1983
II	Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas	1983
III	Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales en bultos	1992
IV	Reglas para prevenir la contaminación por aguas sucias	2003
V	Reglas para prevenir la contaminación por basuras	1988
VI	Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques	2005

Fuente: Elaboración propia.

El Convenio MARPOL 73/78 nace con el objetivo de eliminar totalmente la contaminación intencional del medio marino por hidrocarburos y otras sustancias perjudiciales, y reducir a un mínimo la descarga accidental de estas. Para ello se definen reglas de carácter universal para prevenir la contaminación del medio marino y la atmósfera por los buques, se establecen criterios para la descarga en el mar de cada categoría de residuo y se incluyen excepciones a la regla.¹⁹ Además, se especifican normas relativas a la construcción de los barcos, la estructura y los equipos²⁰ a bordo de los buques, y las instalaciones portuarias de recepción de desechos. Este convenio ha evolucionado

¹⁹ Algunas de ellas se aplican cuando las descargas son necesarias para proteger la seguridad del buque y de las personas a bordo, salvar vidas en el mar o para reducir los daños de un caso concreto de contaminación o por averías (véase MARPOL 73/78).

²⁰ Por ejemplo, en lo que a hidrocarburos se refiere y dependiendo del arqueo bruto de los buques, es obligatorio que los buques cuenten con medios de retención de hidrocarburos a bordo. En cuanto a las basuras, todo buque de arqueo bruto igual o superior a 400 toneladas o que esté autorizado a transportar 15 personas o más, tiene que tener un plan de gestión de basuras que especifique los procedimientos para la recogida, el almacenamiento, el tratamiento y la eliminación de basuras generadas a bordo (compactadoras, desmenuzadoras, mezcladores, trituradoras e incineradoras).

desde un diseño inicial basado en un planteamiento correctivo de la contaminación, hasta el actual enfoque de carácter más bien preventivo que la experiencia y los nuevos accidentes producidos le han otorgado a través de sucesivas enmiendas.

A nivel europeo, la Directiva 2000/59/CE²¹ establece que todos los puertos deben disponer de instalaciones de recepción de residuos adecuadas y realizar el servicio de retirada sin ocasionar demoras innecesarias. Asimismo, siguiendo el principio de “quien contamina paga”, obliga a contribuir sufragando los costes de estas instalaciones a todos los buques que realizan escalas en un puerto de la UE, a través de la tarifa correspondiente, que ha de ser diseñada de forma que no incentive la descarga de los desechos en el mar. A modo de resumen, en la Tabla 4.2 se muestran los acuerdos más relevantes en esta materia.

Tabla 4.2. Acuerdos en materia de prevención de la contaminación

Convenio	Materia	Ámbito
OILPOL (1954)	Prevención de la contaminación del mar por hidrocarburos	Internacional
INTERVENTION (1969)	Intervención en alta mar en casos de accidentes que causen contaminación por hidrocarburos	Internacional
Convenio Londres (1972)	Prevención de la contaminación del mar por el vertido de desechos y otras materias	Internacional
MARPOL (1973/1978)	Evitar las descargas de sustancias contaminantes operacionales y accidentales de los buques	Internacional
Barcelona (1976)	Prevenir y luchar contra la contaminación de cualquier fuente en el Mediterráneo	Mediterráneo
OPRC (1990)	Cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos	Internacional
Convenio de París (1992)	Prevenir contaminación causada por vertidos o incineración por fuentes mar adentro, de origen terrestre y otros orígenes	Europea
Directiva 93/12/CEE (1993)	Contenido de azufre de determinados combustibles líquidos	Europa
Directiva 95/21/CE (1995)	Cumplimiento de las normas internacionales de seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones tanto de vida como de trabajo a bordo de los buques	Europa
Directiva 1999/32/CE (1999)	Modificación de la Directiva 1999/32/CE sobre la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos	Europea
Directiva 2000/59/CE (2000)	Provisión adecuada de instalaciones de recogida y tratamiento de residuos generados por los buques	Europa

(continúa)

²¹ Esta norma fue modificada posteriormente por la Directiva 2007/71/CE, afectando al anexo II, relativo a la información que debe notificarse antes de entrar en puerto.

Convenio	Materia	Ámbito
Protocolo HNS (2000)	Cooperación, preparación y lucha contra los sucesos de contaminación por sustancias nocivas y potencialmente peligrosas	Internacional
AFS (2001)	Control de los sistemas anti-incrustantes perjudiciales en los buques	Internacional
Directiva 2002/84/CE (2002)	Prevención de la contaminación por los buques	Europa
Convenio combustible de los buques (2002)	Responsabilidad civil nacida de daños debidos a la contaminación por hidrocarburos	Europa
Real Decreto 1381/2002 (2002)	Instalaciones portuarias de recepción de desechos generados por los buques y residuos de carga	España
BWM (2004)	Control y gestión de las aguas de lastre y los sedimentos de los buques	Internacional
Directiva 2005/35/CE (2005)	Contaminación procedente de buques y sanciones penales	Europa
Directiva 2005/35/CE (2005)	Contaminación procedente de buques y sanciones penales	Europa
Directiva 2008/98/CE (2008)	Gestión de residuos en la Unión Europea	Europa
Directiva 2009/123 / CE (2009)	Modificación de la Directiva 2005/35/CE	Europa
HONG KONG SRC (2009)	Reciclaje seguro y ambientalmente racional de los buques	Internacional
Real Decreto Legislativo 2/2011 (2011)	Regulación del servicio de recepción de residuos en puerto	Europa
La Directiva 2012/33/UE (2012)	Regulación del uso de combustible con azufre en las zonas de control de emisiones de azufre (SECA): Canal de la Mancha, Mar del Norte y Mar Báltico	Europa
Directiva 2015/2087 (2015)	Modificación del anexo II de la Directiva 2000/59/CE sobre instalaciones portuarias receptoras de desechos generados por buques y residuos de carga	Europa
Directiva 2016/802/UE (2016)	Modificación de la Directiva 1999/32/CE sobre la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos	Europa

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Tarificación del servicio de recepción de desechos de residuos de hidrocarburos y basuras

Para proteger el medio marino resulta fundamental que el sistema tarifario, en lugar de incentivar descargas ilegales de desechos al mar, propicie la utilización de las instalaciones de recepción portuarias por parte de los buques al mismo tiempo que permita recuperar los costes (Ball, 1999; Carpenter & Macgill, 2001; Carpenter & Macgill, 2003; Carpenter & Macgill, 2005; Zuin et al., 2009; Newman et al., 2015). La tarifa debe determinarse en función del comportamiento particular del usuario, teniendo en cuenta el tipo de operación que realiza, el tamaño del buque y otras variables

que afecten a su actividad (Meersman et al., 2015). Para la selección de una tasa adecuada ha de considerarse la posición competitiva del puerto en cuestión con respecto a sus puertos vecinos, especialmente si se trata de puertos en los que no se aplica la Directiva 2000/59/CE (Palantzas et al., 2005). De lo contrario, la tasa podría incentivar el desvío de tráfico hacia otros puertos.

En Europa (Directiva 2000/59/CE), para no incentivar la descarga de desechos en el mar, se cobra una tarifa con independencia del uso real que haga el buque de las instalaciones (tarifa indirecta). Al tratarse de una tasa que no depende del volumen realmente descargado, cada estado o puerto la define en función de las variables que considera más relevantes para cumplir con el principio de “quien contamina paga”, uno de los pilares fundamentales de la política comunitaria medioambiental. La tarifa indirecta debe representar, como mínimo, el 30% de los costes de las instalaciones de recepción de desechos y puede incorporarse en las tasas portuarias generales o establecerse como una tasa de residuos independiente. Eventualmente, la parte de los costes de las instalaciones de recepción de residuos no cubierta por la tarifa anterior se cubrirá en función del tipo y la cantidad de desechos entregados por el buque (tarifa directa). Esta tarifa se aplica de igual manera en todos los países miembros, aunque la cuantía puede ser diferente.

Un informe realizado por la Agencia Europea de Seguridad Marítima pone de manifiesto que en Europa la tasa indirecta es la más extendida: el 85% de los puertos analizados emplea una tasa indirecta para cobrar los residuos de hidrocarburos y el 68% la aplica a las basuras, también denominadas residuos sólidos (Ohlenschlager & Gordiani, 2012).

Actualmente, existen varias interpretaciones de la Directiva 2000/59/CE, lo que hace posible que a nivel europeo, e incluso dentro de un mismo país, existan diferentes tipos de tasas (Ohlenschlager & Gordiani, 2012). Por ejemplo, en algunos países el abono de la tasa indirecta permite la descarga de todos los residuos a bordo del buque, mientras en otros solo incluye la descarga de una cantidad limitada. Incluso, en algunos puertos, la tarifa no otorga el derecho de descarga, teniendo que abonar una tarifa directa para recibir el servicio. En otras ocasiones también se contempla la devolución de parte del importe abonado o la penalización por no realizar la descarga de residuos en puerto. Estas diferencias podrían poner en cuestión que las tarifas sean equitativas, transparentes y no discriminatorias, tal y como establece la Unión Europea (véase Tabla 4.3).

En cuanto a las variables empleadas para la determinación de la tasa indirecta, la mayoría de los países emplean el tamaño del buque, medido a través del GT²² (De Langen & Nijdam, 2008; Ohlenschlager & Gordiani, 2012; Deja, 2013). Como ejemplos cabe citar los puertos de Szczecin y Swinoujscie (Polonia), Amsterdam (Holanda), Bremerhaven y Hamburg (Alemania), Gothenburg (Suecia) Klaipeda (Lituania) o Le Havre (Francia), así como los puertos españoles.

En otros puertos como Antwerp (Bélgica), Tallinn (Estonia), Venice o Trieste (Italia), la tarifa no solo responde al tamaño del buque, sino que también incluye la tipología del mismo (Ohlenschlager & Gordiani, 2012; Deja, 2013). Georgakellos (2007) considera que además debería incluirse la distancia recorrida desde la última escala. Con el propósito de facilitar la implementación del servicio de recepción de residuos sólidos en puerto, la IMO elaboró una lista con los elementos determinantes de la generación de basura a bordo de un buque; entre ellos se encuentran el tipo de buque, la ruta, el número de personas a bordo, la duración del viaje o el tiempo de estancia en áreas en las que la descarga al mar se encuentra prohibida o restringida (IMO, 2012).

En la mayor parte de estos puertos el abono de la tarifa permite la descarga de todos los desechos generados por el buque. Sin embargo, De Langen & Nijdam (2008) sostienen que la generación de cada tipo de desecho se encuentra asociada a diferentes factores y, por tanto, la tasa debería recoger este hecho: mientras la generación de residuos de hidrocarburos está asociada al tipo de aceite utilizado y a la capacidad y calidad del motor, el volumen de sólidos varía en función del tamaño de la tripulación (Polglaze, 1995; Presburger Ulnikovic et al., 2012).

También, pueden encontrarse casos de puertos que aplican una tarifa diferente a cada residuo. Por ejemplo, el puerto de Malta aplica una tarifa basada en el GT del buque a los residuos de hidrocarburos, mientras que para definir la tarifa de los sólidos emplea el GT y el número de personas a bordo (Malta Maritime Authority, 2014). El puerto de Rotterdam hasta el año 2016 también poseía una tarifa diferenciada para hidrocarburos, basada en la potencia del motor principal, y para sólidos, en la que tenían en cuenta además la tripulación a bordo del buque (Deja, 2013). Actualmente y con el objeto de seguir la misma estructura tarifaria que los puertos vecinos, ha unificado las dos tarifas, tomando como referencia el tamaño del buque (Rotterdam Port Authority, 2014).

²² *Gross Tonnage*, en español, arqueado bruto de un buque.

En España la tasa indirecta se determina en función del tamaño del buque y es la resultante del producto entre una cuantía fija y un coeficiente que depende del GT. Esta tarifa se aplica a los desechos de hidrocarburos y a los sólidos.²³ Con el propósito de conciliar los intereses del buen funcionamiento del transporte marítimo con los de la protección del medio, la tasa incluye tanto exenciones (embarcaciones al servicio de la autoridad portuaria, buques de pesca fresca, embarcaciones deportivas y de recreo autorizadas para un máximo de doce pasajeros, entre otros) como bonificaciones (siempre que se disponga de un certificado en el que conste que el buque genera cantidades reducidas de desechos gracias a su gestión medioambiental y se acredite la descarga de desechos en el puerto anterior y la existencia de capacidad suficiente para llegar al siguiente puerto de escala). Los buques que operan en tráfico regular con escalas frecuentes pueden estar exentos de entregar los desechos en cada uno de los puertos en los que hacen escala, siempre y cuando posean un plan que asegure la entrega de los residuos generados y el pago de las tarifas correspondientes en alguno de los puertos ubicados en la ruta del buque.

De todo lo anterior y del contenido de la Tabla 4.3 se desprenden varias consideraciones. Existe una amplia variedad de criterios para tarifificar la descarga de desechos de los buques. Además del tamaño del buque existen otros factores que influyen en la generación y descarga en puerto de residuos. Resulta adecuado definir tasas portuarias diferenciadas para cada tipo de residuo.

Tabla 4.3. Tarifa indirecta para la descarga de residuos de buques en puerto

Puerto	Base para la tarifa	Características de la tarifa
Amsterdam	GT	La tarifa actúa como incentivo
Bremerhaven	GT	La tarifa actúa como incentivo
Rotterdam	GT	La tarifa actúa como incentivo
Le Havre	GT	La tarifa actúa como penalización
Malta	GT y personas a bordo	La tarifa actúa como penalización
Trieste	GT y tipo de buque	La tarifa no permite descargar
Venice	GT y tipo de buque	La tarifa no permite descargar
Antwerp	GT y tipo de buque	La tarifa actúa como un depósito
Gothenburg	GT	Volumen de residuo ilimitado
Las Palmas	GT	Volumen de residuo ilimitado
Stockholm	GT	Volumen de residuo ilimitado
Tallin	GT y tipo de buque	Volumen de residuo ilimitado
Hamburg	GT	Volumen de residuo limitado
Klaipeda	GT	Volumen de residuo limitado
Swinoujscie	GT	Volumen de residuo limitado
Szczecin	GT	Volumen de residuo limitado

Fuente: Elaboración propia. Ohlenschlager & Gordiani (2012), Malta Maritime Authority (2014) y Rotterdam Port Authority (2014).

²³ Otros desechos, como las aguas sucias, tienen una tasa directa que se abona directamente al operador del servicio.

4.3. Factores que determinan la generación de residuos de buques: hidrocarburos y basuras

De acuerdo con De Langen & Nijdam (2008), los desechos más importantes que generan los buques son las basuras y los hidrocarburos.

En el Anexo I del MARPOL 73/78 se abordan temas relacionados con el proyecto, la construcción y la explotación de los buques que transportan cargas de hidrocarburos. Destaca la normativa sobre equipamiento a bordo, medios de bombeo, limpieza de los tanques, descarga operacional de hidrocarburos, planes de emergencia a bordo, protocolo a seguir en caso de avería, y ubicación y capacidad de las instalaciones de recepción en puerto. Se establecen excepciones en las que la descarga al mar no está prohibida, entre las que destacan las siguientes. Los buques petroleros no pueden descargar más de 1/15.000 partes del cargamento total afectado por los residuos, o más de 1/20.000, si es un buque nuevo. Tampoco está prohibido el vertido si el buque tiene en funcionamiento un sistema de vigilancia y control de descargas y dispone de un tanque de decantación. En el caso las aguas de las sentinas²⁴ de los espacios de máquinas, si se trata de un buque no petrolero con GT igual o superior a 400 toneladas o de un buque petrolero, la descarga está prohibida, salvo que tenga en funcionamiento el equipo requerido o posea un contenido de hidrocarburos del efluente sin dilución igual o inferior a 15 partes por millón. Algo similar sucede con el lastre limpio o separado y con las mezclas oleosas no sometidas a tratamiento, siempre y cuando las descargas no procedan de las sentinas de la cámara de bombas de carga ni se encuentren mezcladas con residuos de carga de hidrocarburos. Las descargas no podrán contener productos químicos de ninguna otra sustancia en proporciones que puedan resultar peligrosas.

Las basuras de los buques pueden resultar tan perjudiciales para el medio marino como los hidrocarburos o productos químicos. El MARPOL 73/78, en su Anexo V establece la prohibición de descargar en el mar toda basura relacionada con desechos de alimentos, agentes o aditivos de limpieza y cadáveres de animales. Existen excepciones que se aplican cuando se trata de la seguridad del buque y de las personas a bordo, entre otras cuestiones. Por un lado, se pueden verter al mar las tablas y forros de estiba y materiales de embalaje que puedan flotar, siempre que el buque se

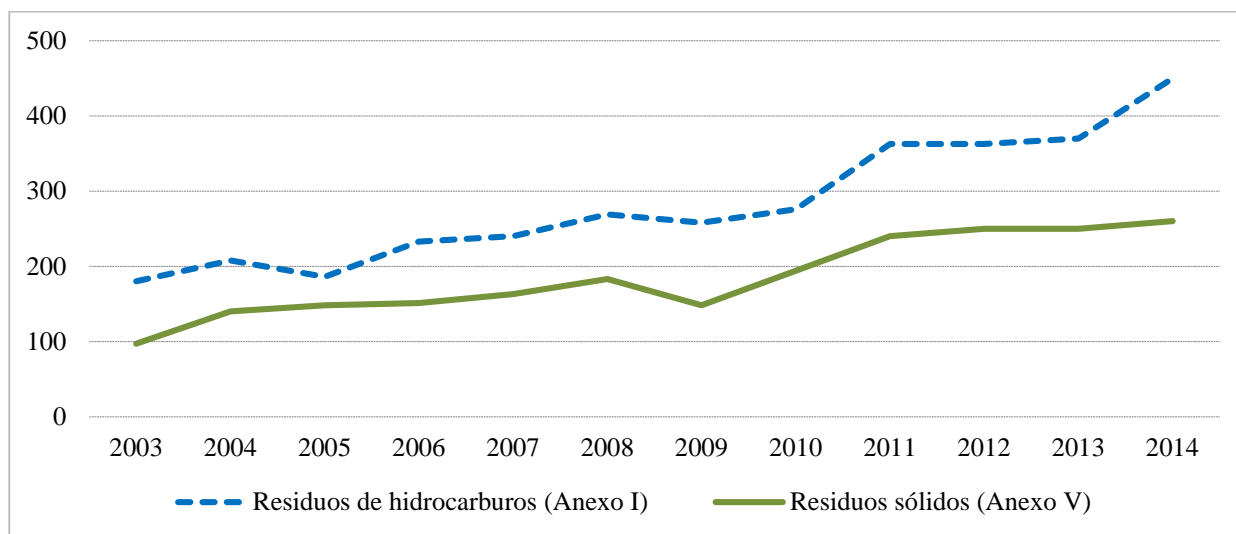
²⁴ Se trata de espacios situados en la parte más baja de la sala de máquinas donde se recolectan todos los líquidos aceitosos procedentes, entre otros, de pérdidas de tuberías y juntas, o del propio funcionamiento de la planta propulsora.

encuentre a más de 25 millas marinas de la tierra más próxima. Por otro lado, y cuando la distancia es superior a 12 millas marinas, pueden descargarse los restos de comidas y todas las demás basuras, incluidos productos de papel, trapos, vidrios, metales, botellas, loza doméstica y cualquier otro desecho similar. Si estos últimos se encuentran desmenuzados o triturados, de manera que puedan pasar por cribas con mallas inferiores a 25 milímetros, pueden verterse al mar cuando la tierra más próxima se encuentre a más de tres millas marinas del buque. Los cadáveres de animales pueden depositarse en el mar lo más lejos posible de la tierra más cercana. Los agentes o aditivos de limpieza procedentes de las bodegas de carga y las aguas de lavado de la cubierta y superficies exteriores también pueden descargarse, siempre que no sean perjudiciales para el medio marino.

El Convenio MARPOL 73/78 y los sucesivos acuerdos, tanto internacionales como regionales en favor de la preservación del medio marino, han ido otorgado mayor importancia a la contaminación producida por los buques. Esto, unido al incremento del comercio mundial, ha producido un aumento del volumen de residuos descargados en los puertos.

En España (Figura 4.1), también se ha producido un incremento en la recogida de los residuos de hidrocarburos y sólidos, coincidiendo con el aumento de la cantidad y tamaño de los buques atendidos.

Figura 4.1. Evolución del volumen de residuos de hidrocarburos y sólidos retirados en el Sistema Portuario Español durante el periodo 2003-2014 (m³)



Fuente: Puertos del Estado (2014).

En 2014, las cifras de residuos por hidrocarburos y por basuras retirados procedentes de buques se situaron en torno a 450.000 m³ y 260.000 m³, respectivamente, lo que indica que desde 2003 el volumen de residuos se incrementó en más del doble (Puertos del Estado, 2014). Asimismo, el hecho de que el 29% de las empresas operadoras en los puertos españoles se dediquen a realizar la descarga de residuos de buques,²⁵ también es un indicador de la importancia creciente de este servicio.

4.3.1. Estrategia empírica

En este trabajo se analizan los factores implicados en la generación de los residuos de hidrocarburos y basuras de buques con la finalidad de comprobar si los elementos tenidos en cuenta por las autoridades portuarias para calcular la tasa indirecta por el servicio de retirada de residuos son los más adecuados.

Para ello se ha estimado un modelo Heckman (Heckman, 1979) por el método de Máxima Verosimilitud. La estimación se ha realizado de manera conjunta en una sola etapa (Amemiya, 1981). Esta metodología permite superar la limitación que plantean los estimadores obtenidos por Mínimos Cuadrados Ordinarios derivada de la selección muestral (Greene, 1998).

Los puertos registran las entradas de los buques que hacen escala en ellos y solamente contabilizan la cantidad de residuos que llevan a bordo si hacen uso del servicio de retirada de desechos. De los buques que no descargan no se dispone información sobre los desechos que transportan. Si no se incluyen estos últimos buques, por no disponer de la información necesaria, la muestra no es “aleatoria” y, por tanto, no es representativa de la población a estudiar, planteándose un problema de riesgo de sesgo de selección.

El modelo de Heckman permite aislar este sesgo de selección muestral producido por la autoselección de los buques que deciden descargar y teóricamente se define como sigue:

$$y_i = \beta x_i + u_i \quad \text{si } y^* > 0 \quad (4.1)$$

$$y_i^* = \delta z_i + v_i \quad (4.2)$$

²⁵ Por delante de este servicio se encuentra la estiba, con un 33% de empresas operadoras.

Siendo (4.1) la ecuación de interés, donde y_i no se observa en determinadas condiciones y está definida por las variables x_i ; (4.2) es la ecuación auxiliar de selección que mide la probabilidad de estar en la muestra, estando y_i^* compuesta por variables que determinan el hecho de pertenecer o no a la muestra (z_i), pudiendo también, incluir las variables independientes que integran la ecuación de interés. Las variables u_i y v_i son los respectivos términos de error y β , δ son parámetros a estimar.

El método consiste en estimar, en una primera etapa, la probabilidad de que un buque decida o no descargar, en función de las variables que determinan la decisión, por medio de un modelo Probit (ecuación (4.2)). De esta estimación se obtiene un estadístico conocido como la razón inversa de Mills que recoge la importancia de dicho sesgo. A continuación, en una segunda etapa, se estima un modelo con la muestra truncada, es decir, con los buques que descargan, en la que se incorpora la razón de Mills como una variable explicativa adicional. Esta regresión define el volumen de residuos descargado a través de diferentes factores y constituye la ecuación de interés (ecuación (4.1)).

4.3.2. Datos

Para estimar el modelo Heckman se ha empleado como caso de estudio el Puerto de Las Palmas. Este puerto ocupa el tercer lugar en volumen de residuos descargados dentro del Sistema Portuario Español, lo que representa el 11% de las descargas totales. La información ha sido proporcionada principalmente por la Autoridad Portuaria de Las Palmas y la Capitanía Marítima del Puerto de las Palmas, aunque se consultaron otras fuentes como *Marine Traffic*, webs corporativas de navieras y la legislación vigente sobre tripulación a bordo de buques.

Como variable endógena se han considerado, de forma desagregada, los residuos de hidrocarburos y los sólidos, medidos en metros cúbicos. Por desecho de hidrocarburos se entiende el petróleo en todas sus manifestaciones, incluidos los crudos de petróleo, el fuel-oil, los fangos, los residuos petrolíferos y los productos de refinación (distintos de los petroquímicos). Las basuras son los desechos de alimentos tanto domésticos como operacionales, los plásticos, los residuos de carga, las cenizas de incineradores, el aceite de cocina, las artes de pesca y los cadáveres de animales que se eliminan periódicamente y que son resultado de la operativa normal del buque.

Teniendo en cuenta la literatura empírica, como variables exógenas se incluyeron tanto aspectos relacionados con las características tecnológicas del buque como con la tipología y la ruta de los

buques. Las variables incluidas (Tabla 4.4) son las siguientes: tamaño, edad y velocidad media del buque, distancia recorrida entre el último puerto de escala y el Puerto de Las Palmas, distancia recorrida entre el Puerto de Las Palmas y el siguiente puerto de escala, personas a bordo del buque, duración de la escala en el Puerto de Las Palmas, continente donde se ubica el puerto en el que el buque realizó su última escala y tipología del buque, siguiendo la clasificación de *Lloyd's Register of Shipping*.

Tabla 4.4. Variables explicativas

Variable	Tipo	Unidad de medida
Tamaño del buque	Numérica	GT
Edad del buque	Numérica	Diferencia entre año de construcción y de estudio
Velocidad media	Numérica	Nudos
Personas a bordo del buque	Numérica	Número de tripulantes y de pasajeros
Escala del buque	Numérica	Horas
Tipología del buque	<i>Dummy</i>	Cruceros, ferris, graneleros, portacontenedores, cargueros, rodantes, tanques y pesqueros ²⁶
Distancia entre el último puerto de escala y el Puerto de Las Palmas	Numérica	Millas náuticas
Distancia entre el Puerto de Las Palmas y el siguiente puerto de escala	Numérica	Millas náuticas
Zona en la que está ubicado el puerto en el que se realizó la última escala	<i>Dummy</i>	África, Asia, Europa (distinguiendo entre países pertenecientes a la Unión Europea y resto), Latinoamérica, Norteamérica y Oceanía

Fuente: Elaboración propia.

A priori, se espera que el tamaño, la edad y la velocidad posean una relación positiva con la generación de residuos de hidrocarburos. Las personas a bordo se cree que no son relevantes en la generación de este tipo de desecho, pero representan un elemento fundamental en la generación de basuras. Según la IMO (1999), las personas a bordo de buques de carga generan 1,5 kilos diarios y, en el caso de buques de pasajeros, 2,5 kilos diarios. Para Presburger Ulnikovic et al. (2012), esta cantidad asciende a un kilo diario por persona, al que se añaden dos botellas y dos latas cuando se trata de cruceros (Sweeting & Wayne, 2003).

También, se espera que la velocidad presente una relación inversa con los desechos sólidos. En cuanto a la edad, en principio, podría considerarse que esta no influye en la generación de sólidos, sin embargo, puede utilizarse como una aproximación a la tecnología del barco. Algunos estudios indican que la cantidad de los residuos sólidos que se incineran en los buques para su posterior

²⁶ Incluye buques pesqueros con más de doce pasajeros y buques factorías.

descarga en el mar o en puerto, depende de la antigüedad y de las instalaciones que posea el buque (Butt, 2007).

En cuanto a la distancia, en principio se espera que, a más distancia recorrida, mayor generación de residuos. Sin embargo, aunque el MARPOL 73/78 prohíbe la descarga de residuos en el mar, define ciertas circunstancias en las que esta puede producirse. Por ejemplo, es posible descargar una cantidad limitada de desechos a una cierta distancia de la tierra más próxima siempre que el buque esté en ruta y no se encuentre en una zona especial (50 millas en el caso de hidrocarburos y 12 o 25 millas, según el tipo de basura).²⁷ Este hecho puede ocasionar que la cantidad de desecho retirada en puerto sea menor a la esperada y, por tanto, la relación entre distancia y residuo sea inversa. Mientras más larga sea la ruta, más probable es que el buque haya descargado desechos en el mar cumpliendo con la normativa vigente.

La tipología del buque permite recoger aspectos propios de cada categoría de barco que no se han podido medir y que pueden estar influyendo en la generación de residuos; por ejemplo, los medios para mantener a bordo los residuos difieren según el tipo de buque.

Se espera que un buque que viene de un puerto de la UE, como ha tenido que abonar la tarifa, haya descargado sus residuos en ese puerto. Por su parte, es posible que los buques que proceden de África (excepto de Namibia y Sudáfrica) hayan realizado descargas ilegales. Para capturar el efecto de estas circunstancias desconocidas, se ha incluido una variable que refleja la zona geográfica en la que el buque realizó la última escala.

La distancia que recorre el buque desde el Puerto de Las Palmas y la duración de la escala en este puerto pueden influir en la decisión de descargar o no los residuos. Por ello, esta variable junto con las anteriores se ha considerado para determinar la probabilidad de descarga.

La muestra de estudio está compuesta por 5.948 buques que hicieron escala en el Puerto de Las Palmas durante el año 2014 ²⁸ de los cuales 1.410 descargaron residuos: 577 solo residuos de hidrocarburos, 227 solo desechos sólidos y 606 ambos tipos. En total, se descargaron 4.559 m³ de

²⁷ Véase Anexo I y Anexo V del MARPOL 73/78.

²⁸ De los 8.605 buques atendidos en el Puerto de las Palmas durante el año 2014, solo se consideraron los buques o embarcaciones con más de 12 pasajeros y los que transportan algún tipo de carga. Se eliminaron, por tanto, las gabarras, los remolcadores, las dragas, los buques artesanales, de investigación, de suministros y de guerra.

basuras y 20.649 m³ de residuos de hidrocarburos. Los buques que más basura descargaron fueron los cruceros (2.180 m³), seguidos de los ferris (978 m³). Los portacontenedores dejaron en puerto 8.913 m³ de residuos de hidrocarburos, lo que supone el 43% del total de desechos retirados de este tipo durante el año 2014.

Como se puede observar en la Tabla 4.5, un barco medio descarga en torno a 17 m³ de hidrocarburos y 5 m³ de basuras, tiene un tamaño de 24.395 GT, 14 años de antigüedad, alcanza una velocidad media de 12 nudos y recorre hasta llegar a este puerto 1.735 millas. El barco que más tiempo estuvo en puerto fue un tanque (41 días), mientras que los ferris, puesto que cubren líneas regulares interinsulares, son los que menos tiempo están.

Tabla 4.5. Medidas descriptivas de las variables^a (2014)

Variable	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Residuos de hidrocarburos (m ³)	17,45	19,90	0,02	200,00
Residuos sólidos (m ³)	5,47	12,18	0,04	81,80
Tamaño (GT)	24.394,60	28.168,26	130,00	156.914,00
Edad (años)	14,30	10,31	0,00	48,00
Velocidad media (nudos)	11,89	4,91	5,30	43,70
Personas (unidades)	200,20	648,89	10,00	4.610,00
Escala (horas)	37,91	87,00	0,25	995,49
Distancia puerto anterior (millas)	1.735,37	1.670,42	47,00	10.677,00
Distancia puerto siguiente (millas)	1.528,74	1.493,13	47,00	13.203,00

^aSolo se han incluido los buques que descargaron desechos.

Fuente: Elaboración propia. Autoridad Portuaria de Las Palmas y *Marine Traffic*.

En media, los cruceros son los buques más grandes y con más personas a bordo, y también son los que más desechos descargaron: 35 m³ de hidrocarburos y 40 m³ de basuras (véase Tabla 4.6). En cuanto a la descarga de residuos sólidos, les siguen los pesqueros (19 m³), que son los buques más pequeños, más antiguos y los que más tiempo están en puerto, y los ferris (13 m³) que, por dedicarse al tráfico regular interinsular, tienen elevadas frecuencias y hacen las escalas más cortas (25 minutos). Después de los cruceros, los barcos que más hidrocarburos descargaron son los portacontenedores (24 m³), los tanques (18 m³) y los ferris (16 m³).

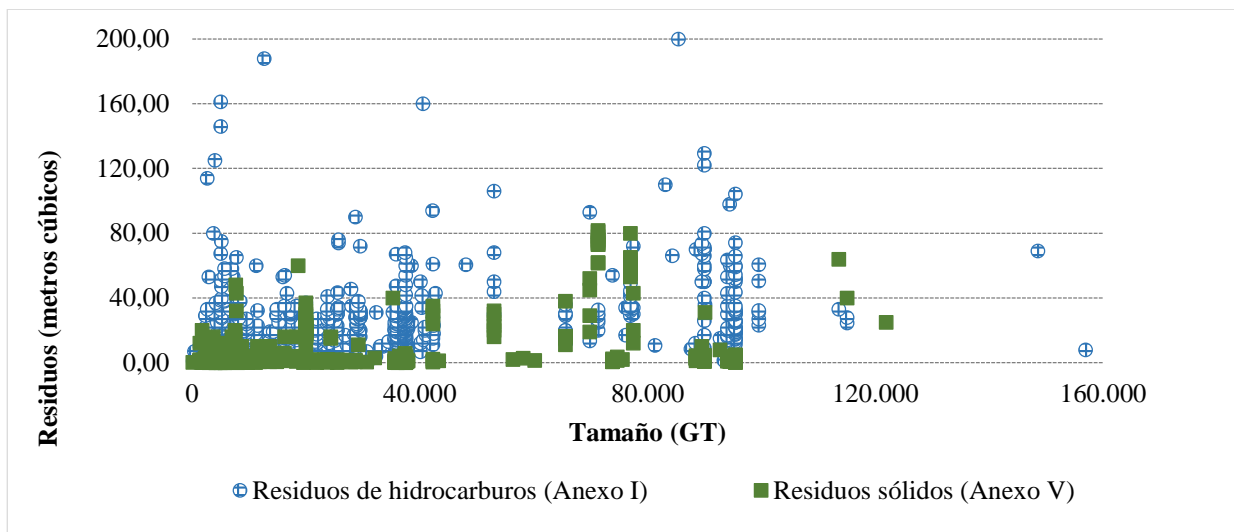
Tabla 4.6. Media aritmética de las variables según tipo de buque^a (2014)

Variable	Ferris	Cruceros	Graneleros	Cargueros
Residuos de hidrocarburos (m ³)	16,07	35,27	12,92	9,34
Residuos sólidos (m ³)	12,71	40,36	1,03	1,70
Tamaño (GT)	15.128,27	67.278,83	22.118,09	5.709,95
Edad (años)	9,87	13,76	10,53	17,19
Velocidad media (nudos)	22,97	12,68	9,93	10,29
Personas (unidades)	204,66	2.425,84	21,65	15,99
Escala (horas)	7,74	16,43	56,70	40,51
Distancia puerto anterior (millas)	88,75	196,38	2.271,88	1.666,94
Distancia puerto siguiente (millas)	87,07	303,21	2.218,47	1.826,43
Variable	Pesqueros	Portacontenedores	Rodantes	Tanques
Residuos de hidrocarburos (m ³)	13,95	23,90	14,33	17,25
Residuos sólidos (m ³)	19,06	1,54	1,90	2,18
Tamaño (GT)	3.905,41	43.911,79	8.007,06	11.387,99
Edad (años)	24,89	14,82	15,88	7,74
Velocidad media (nudos)	9,06	12,07	10,31	10,03
Personas (unidades)	12,56	22,49	17,50	22,08
Escala (horas)	279,86	24,05	102,62	48,12
Distancia puerto anterior (millas)	1.362,78	2.581,52	1.005,81	1.529,00
Distancia puerto siguiente (millas)	1.785,33	1.764,03	1.057,00	1.471,51

^a Solo se han incluido los buques que descargaron desechos.

Fuente: Elaboración propia. Autoridad Portuaria de Las Palmas y *Marine Traffic*.

La casuística del Puerto de Las Palmas, no permite afirmar la existencia de una relación positiva entre el tamaño de los barcos y la generación de residuos. Ahondando en estos datos, en la Figura 4.2 se aprecia que los buques que más residuos descargaron no son los más grandes. Puesto que la tarifa por la descarga de residuos en la mayor parte de los puertos se establece en función del tamaño del buque, este resultado justifica la conveniencia de determinar si hay otras variables, además del tamaño, que determinan la cantidad de residuos descargada en puerto.

Figura 4.2. Tamaño de los buques^a y residuos descargados en el Puerto de Las Palmas (2014)

^a Solo se han incluido los buques que descargaron desechos.

Fuente: Elaboración propia. Autoridad Portuaria de Las Palmas.

4.3.3. Resultados y discusión

Empleando la metodología propuesta por Heckman (Heckman, 1979) y a través del método de Máxima Verosimilitud (Amemiya, 1981), se han estudiado los factores que influyen en el volumen de residuos procedentes de los buques, tanto hidrocarburos como sólidos, descargados en puerto.

Como la generación de cada uno de estos desechos depende de factores diferentes, se estima un modelo para cada tipo de residuo. En términos generales, se espera que los residuos de hidrocarburos estén más relacionados con la tecnología del buque y que los sólidos estén más ligados a las personas que se encuentran a bordo. La velocidad y los elementos relacionados con la ruta como, por ejemplo, la distancia recorrida desde la última escala, podrían influir en la cantidad descargada de ambos desechos.

Para cada tipo de residuo se estimaron tres modelos. Partiendo de un modelo que solo incluye variables relativas a la tecnología del buque (modelo 1), se van creando modelos anidados, siendo el modelo 3 el más completo. Los contrastes realizados, tanto para los residuos de hidrocarburos como para los sólidos, rechazaron los modelos 1 y 2 a favor del modelo 3. El contraste de Wald confirmó la existencia de sesgo de selección, justificando la aplicación de la metodología propuesta por

Heckman. En todos estos modelos, la probabilidad de descarga incluye todas las variables explicativas mostradas en la Tabla 4.4, exceptuando las personas a bordo en el caso de hidrocarburos.

Residuos de hidrocarburos

En la Tabla 4.7 se presentan los modelos estimados para reflejar las variables que afectan al volumen de residuos de hidrocarburos descargados. En el modelo 1 solo se han considerado las variables relacionadas con la tecnología del buque. El modelo 2 incluye además todas las características propias de cada tipo de buque que no han sido observadas. El modelo 3 es un modelo anidado en el anterior que incorpora características de la ruta como el último puerto en el que hizo escala y la distancia recorrida hasta llegar al Puerto de Las Palmas.

Los resultados demuestran, como algunos autores sostienen (Georgakellos, 2007; Deja, 2013), que no solo la tecnología de un buque repercute en el volumen de descarga de hidrocarburos, sino que las características del trayecto realizado -distancia recorrida o zona en la que realizó la última escala- también tienen una influencia significativa.

En términos de elasticidades, el factor que más repercute en la cantidad de residuos de hidrocarburos retirados en puerto es el tamaño del buque (0,66), seguido de la velocidad media (0,36), la edad del mismo (-0,09) y la distancia recorrida desde la última escala hasta el Puerto de Las Palmas (0,01). Todas estas variables mantienen una relación positiva con el residuo, a excepción de la edad.

El coeficiente de la antigüedad del barco refleja que los buques más antiguos descargan menos residuos de hidrocarburos (-0,09). Varios factores pueden justificar esta relación. Por un lado, los líquidos aceitosos de las sentinas se purifican mediante separadores de materia oleosa. El agua resultante es vertida al mar y los productos contaminantes permanecen a bordo hasta ser descargados en puerto. Expertos en ingeniería naval consideran que el funcionamiento de un separador de más de 30 años ya no es óptimo y, por tanto, puede ocurrir que se viertan al mar sustancias oleosas. De esta manera, en términos relativos, la descarga de hidrocarburos en puerto es menor. En este hecho también interviene la bandera del buque, pues los países pueden ratificar parcialmente el Convenio MARPOL 73/78. Por otro lado, en la muestra analizada los buques más antiguos tienen como escala anterior y posterior puertos africanos. Exceptuando Namibia y Sudáfrica, no existe certeza de que en

el resto del continente africano la regulación internacional se esté cumpliendo en su totalidad. De hecho, el nivel de contaminación de las aguas del Delta del Río Níger es considerable.

El coeficiente del tipo de buque refleja que los ferris, los rodantes y los pesqueros descargan más cantidad de residuos de hidrocarburos que los cruceros (variable omitida). El coeficiente de la zona de la que proceden indica que los buques con escala anterior en puertos africanos, latinoamericanos, de Oceanía y de Europa, pero no pertenecientes a la UE, también descargan mayores cantidades de este tipo de desecho con respecto a los que proceden de puertos de Europa integrados en la UE (variable omitida).

Tabla 4.7. Estimaciones descarga de residuos de hidrocarburos

Variable	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	Coefficiente	P-valor	Coefficiente	P-valor	Coefficiente	P-valor
Constante	-3,24	0,00*	-3,39	0,00*	-3,67	0,00*
GT	0,58	0,00*	0,64	0,00*	0,66	0,00*
Edad	-0,03	0,34	-0,06	0,09*	-0,09	0,02**
Velocidad media	0,23	0,10***	0,32	0,00*	0,36	0,00*
Distancia puerto anterior					0,01	0,76
Ferris			0,69	0,00*	0,71	0,00*
Contenedores			-0,19	0,06**	-0,18	0,26
Tanques			0,27	0,11	0,21	0,34
Graneleros			0,43	0,11	0,43	0,18
Cargueros			-0,06	0,68	-0,11	0,59
Rodantes			1,05	0,00*	1,01	0,00*
Pesqueros			0,81	0,00*	0,80	0,01*
África					0,13	0,10***
Latinoamérica					-0,28	0,03**
Norteamérica					0,20	0,55
Asia					0,10	0,75
Europa no UE					1,08	0,01**
Oceanía					1,05	0,00*

Fuente: Elaboración propia.

Residuos sólidos

Los modelos estimados para determinar las variables que influyen en la descarga de residuos sólidos se muestran la Tabla 4.8. En el modelo 1 solo se han incluido las variables relacionadas con la tecnología del buque. El modelo 2, además de la tecnología del buque, incorpora variables relacionadas con la ruta y en el modelo 3 se añadieron las personas a bordo del buque.

Los resultados obtenidos en el modelo 3 confirman que las personas a bordo son el factor que más repercute en la cantidad de basura descargada en puerto (Polglaze, 1995; Sweeting & Wayne, 2003; Presburger Ulnikovic et al., 2012; IMO, 2012). El coeficiente indica que un aumento del 1% de las personas a bordo ocasiona un incremento en la descarga de residuos sólidos de 0,69%. El tamaño del buque y la distancia desde el último puerto de escala también influyen en la cantidad de basura descargada. Mientras el tamaño del buque repercute positivamente en el volumen de basuras (0,12 de elasticidad), la distancia recorrida tiene el efecto contrario con una elasticidad de -0,09. El MARPOL 73/78 establece ciertas excepciones a la prohibición de descargar basuras en el mar. Por ejemplo, si el buque posee el equipo adecuado puede triturar y desmenuzar las basuras, a cierta distancia de la tierra más próxima, dependiendo del tipo de basura, es posible descargar sólidos en el mar. A más distancia recorrida, más probabilidad de pasar por las zonas en las que es posible esta descarga, lo que justifica el signo negativo de esta variable. La edad y la velocidad media del buque, no afectan significativamente a la cantidad de basura descargada en puerto.

Los buques con escala anterior en puertos africanos, norteamericanos, asiáticos, de Oceanía y de Europa (no pertenecientes a la UE), descargan, significativamente, mayores cantidades de sólidos en comparación con los que proceden de puertos de Europa integrados en la UE (variable omitida).

Tabla 4.8. Estimaciones descarga de residuos sólidos

Variable	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	Coefficiente	P-valor	Coefficiente	P-valor	Coefficiente	P-valor
Constante	-6,60	0,00*	-3,19	0,00*	-2,91	0,00*
GT	0,50	0,00*	0,59	0,00*	0,12	0,02**
Edad	0,24	0,00*	0,06	0,27	-0,05	0,37
Velocidad media	-0,12	0,41	-0,27	0,05***	-0,03	0,81
Distancia puerto anterior			-0,46	0,00*	-0,09	0,05**
Personas a bordo					0,69	0,00*
África			0,62	0,00*	0,61	0,00*
Latinoamérica			0,41	0,01*	0,15	0,25
Norteamérica			1,75	0,00*	1,59	0,00*
Asia			0,89	0,02*	0,70	0,00*
Europa no UE			1,21	0,00*	0,90	0,00*
Oceanía			1,19	0,00*	0,68	0,00*

Fuente: Elaboración propia. Autoridad Portuaria de Las Palmas.

4.4. Conclusiones

Bajo el principio “quien contamina paga”, los buques que hacen escala en puertos de la Unión Europea tienen que sufragar los costes de las instalaciones de recepción de residuos, realicen o no descarga de desechos. Tarifificar adecuadamente este servicio es fundamental para no incentivar la descarga de residuos en el mar. En la mayoría de puertos europeos, una única tarifa incluye la descarga de desechos tanto de hidrocarburos como de basuras, siendo el tamaño del buque la variable más utilizada como base para definir la tarifa.

Con el propósito de comprobar si el tamaño del buque es el factor más apropiado para tarifificar, en este trabajo se ha analizado el impacto que tienen diferentes variables relacionadas con el buque, los pasajeros y otros factores en el volumen de residuos descargados en puerto, tanto de hidrocarburos como de basuras. La muestra de estudio la conforman los 5.948 buques que realizaron escala en el Puerto de Las Palmas durante el año 2014.

Aplicando un modelo Heckman, que permite aislar el sesgo de selección muestral producido por la autoselección de los buques que deciden descargar, se obtuvo que además del tamaño del buque, existen otras variables que repercuten en la cantidad de residuos descargada. En términos generales estas son las características del barco y de su ruta. El factor más influyente en la descarga de basura son las personas a bordo.

Desde un punto de vista de política económica, de los resultados de este trabajo se desprenden las siguientes consideraciones. Por un lado, los principales factores que afectan al volumen de descarga de residuos de hidrocarburos no son los mismos que los que determinan la descarga de basuras. Por tanto, es necesario definir una tarifa específica para cada tipo de desecho. Por otro lado, el tamaño del buque no es el único factor que repercute en la cantidad de residuos de hidrocarburos y basuras retirados en puerto, ni siquiera es el más relevante en el caso de la descarga de basuras. La tasa aplicada a la retirada de los residuos de hidrocarburos debería basarse no solo en el tamaño del buque sino también podría incluir aspectos relativos a la tecnología, tipo de buque y también características de la ruta. En cuanto a la tarifificación del servicio de retirada de sólidos, la principal recomendación es que resulta fundamental tener en cuenta las personas a bordo del buque.

Atendiendo a estos resultados, como futura línea de investigación se propone el estudio de la gestión del servicio de descarga de residuos en puerto, su tratamiento y reutilización. Si bien la prevención de la contaminación de los mares está en la agenda de los organismos marítimos desde el siglo pasado, más reciente es la toma de conciencia del impacto medioambiental que generan los desechos de los buques por parte de la industria portuaria. En este sentido, el informe ESPO (2016) pone de manifiesto que en 1996 tales residuos no figuraban entre las principales preocupaciones de la industria portuaria y en 2016 ocupan el sexto puesto en las prioridades de dicha industria.

PARTE IV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias

Aigner, D., Lovell, C.A.K. & Schmidt, P., 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6, pp. 21-37.

Amemiya, T., 1981. Qualitative response model: A survey. *Journal of Economic Literature*, 19, pp. 481-536.

Avery, P., 2000. Strategies for container ports. Cargo systems report. IIR Publication Limited: London.

Ball, I., 1999. Port waste reception facilities in UK ports. *Marine Policy*, 23(4-5), pp. 307-327.

Banco Mundial, 2015. Latin America and Caribbean, <http://www.worldbank.org/en/region/lac>. Acceso 29 de septiembre de 2015.

Barros, C.P., 2005. Decomposing growth in Portuguese seaports: A frontier cost approach. *Maritime Economics and Logistics*, 7, pp. 297-315.

Bartlett, C. A., & Ghoshal, S., 2000. Going global: Lessons from late movers. *Harvard Business Review*, 78(2), pp. 132-142.

Battese, G. & Coelli, T., 1995. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 20(2), pp. 325-332.

Bergantino, A.S. & Musso, E., 2011. The role of external factors versus managerial ability in determining seaports' relative efficiency: An input-by-input analysis through a multi-step approach on a panel of Southern European ports. *Maritime Economics & Logistics*, 13(2), pp. 121-141.

Bichou, K., 2011. Assessing the impact of procedural security on container port efficiency. *Maritime Economics and Logistics*, 13, pp. 1-28.

Bichou, K., 2013. An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. *Research in Transportation Economics*, 42(1), pp.28-37.

Birkinshaw, J., & Lingblad, M., 2005. Intrafirm competition and charter evolution in the multibusiness firm. *Organization Science*, 16(6), pp. 674-686.

Brooks, M., McCalla, R.J., Pallis, A.A. & Vanderlugt, L., 2010. Strategic cooperation in peripheral ports: The case of Atlantic Canada's Ports. *Canadian Journal of Transportation*, 4(1), pp.29-42.

Buck Consultants International, 2009. La evolución del papel de los puertos marítimos en el ámbito de la logística marítima mundial: Capacidades, retos y estrategias. Parlamento Europeo. Bélgica.

Butt, N., 2007. The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton. *Marine Policy*, 31(5), pp. 591-598.

Camarero, A. & González, N., 2006. Presente y futuro del tráfico de contenedores. *Obras Públicas*, 3468, pp. 35-48.

Carpenter, A. & Macgill, S., 2001. Charging for port reception facilities in North Sea ports: Putting theory into practice. *Marine Pollution Bulletin*, 42(4), pp. 257-266.

Carpenter, A. & Macgill, S., 2003. The EU Directive on port reception facilities for ship-generated waste and cargo residues: Current availability of facilities in the North Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 46, pp. 21-32.

Carpenter, A. & Macgill, S., 2005. The EU Directive on port reception facilities for ship-generated waste and cargo residues: The results of a second survey on the provision and uptake of facilities in North Sea ports. *Marine Pollution Bulletin*, 50, pp. 1541-1547.

CEPAL, 2007. América Latina y China e India: hacia una nueva alianza de comercio e inversión.

CEPAL, 2014. América Latina y el Caribe: evolución del Sistema portuario, 1997-2013. Boletín FAL 330(2).

Chang, V. & Tovar, B., 2014a. Drivers explaining the inefficiency of Peruvian and Chilean ports terminals. *Transportation Research Part E*, 67, pp.190-203.

Chang, V. & Tovar, B., 2014b. Efficiency and productivity changes for Peruvian and Chilean ports terminals: A parametric distance functions approach. *Transport Policy*, 31, pp.83-94.

Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp. 429-444.

Cheon, S., 2009. Impact of global terminal operators on port efficiency: A tiered data envelopment analysis approach. *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, 12(2), pp. 85-101.

Cheon, S., Dowall, D.E. & Song, D.W., 2010. Evaluating impacts of institutional reforms on port efficiency changes: Ownership, corporate structure, and total factor productivity changes of world container ports. *Transportation Research Part E*, 46(4), pp. 546-561.

Clark, X., Dollar, D. & Micco, A., 2004. Port efficiency, maritime transport costs and bilateral trade. *Journal of Development Economic*, 75, pp. 217-450.

Coelli, T. & Perelman, S., 1999. A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways. *European Journal of Operational Research*, 117(2), pp. 326-339.

Coelli, T., Estache, A., Perelman, S. & Trujillo, L., 2003. A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators. The World Bank. Washington, D.C.

Collins, K. 1995. Towards a cleaner marine environment. European Community priorities for protection. *Marine Pollution Bulletin*, 29, pp. 641-643.

Coto-Millán, P., Baños-Pino, J. & Rodríguez-Álvarez, A., 2000. Economic efficiency in Spanish ports : some empirical evidence. *Maritime Policy & Management*, 27(2), pp. 169-174.

Crujssen, F., Cools, M. & Dullaert, W., 2007. Horizontal cooperation in logistics: Opportunities and impediments. *Transportation Research Part E*, 43(2), pp. 129-142.

Cuesta, R.A. & Orea, L., 2002. Mergers and technical efficiency in Spanish savings banks: A stochastic distance function approach. *Journal of Banking and Finance*, 26(12), pp. 2231-2247.

Cuesta, R.A. & Orea, L., 2002. Mergers and technical efficiency in Spanish saving banks: A stochastic distance function approach. *Journal of Banking and Finance*, 26, pp. 2231-2247.

Cullinane, K. & Song, D.W., 2003. A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminals. *Applied Economics*, 35(3), pp. 251-267.

Cullinane, K. & Song, D.W., 2006. Estimating the relative efficiency of European container ports: A Stochastic Frontier Analysis. *Research in Transportation Economics*, 16(06), pp. 85-115.

Cullinane, K., Ji, P. & Wang, T.F., 2005a. The relationship between privatization and DEA estimates of efficiency in the container port industry. *Journal of Economics and Business*, 57(5), pp. 433-462.

Cullinane, K., Khanna, M., 1999. Economies of scale in large container ships. *Journal of Transport Economics and Policy*, 33(2), pp. 185-208.

Cullinane, K., Song, D.W. & Gray, R., 2002. A stochastic frontier model of the efficiency of major container terminals in Asia: assessing the influence of administrative and ownership structures. *Transportation Research Part A*, 36(8), pp. 743-762.

Cullinane, K., Song, D.W. & Wang, T.F., 2005b. The application of mathematical programming approaches to estimating container port. *Journal of Productivity Analysis*, 24, pp. 73-92.

Cullinane, K., Song, D.W., Ji, P. & Wang, T.F., 2004. An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. *Review of Network Economics*, 3(2), pp. 186-208.

Cullinane, K., Wang, T.F, Song, D.W. & Ji, P., 2006. The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A*, 40(4), pp. 354-374.

De Langen, P.W. & Nijdam, M.N., 2008. Charging systems for waste reception facilities in ports and the level playing field: A case from North West Europe. *Coastal Management*, 36(1), pp.109-124.

De Langen, P.W., 2002. Clustering and performance: The case of maritime clustering in The Netherlands. *Maritime Policy & Management*, 29(3), pp. 209-221.

De Neufville, R. & Tsunokawa, K., 1981. Productivity and returns to scale in container ports. *Maritime Policy and Management*, 8(2), pp. 121-129.

De Rus, G., Román, C. & Trujillo, L., 1994. Actividad económica y estructura de costes del Puerto de La Luz y de Las Palmas. Editorial Cívitas. Madrid.

De Rus, G., Tovar, B. & González, M.M. 2009. Impacto económico del Puerto de Las Palmas. Editorial Cívitas. Navarra.

Deja, A., 2013. Organisation of the reception of ship-generated wastes and cargo residues illustrated by selected examples of European Union seaports. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, 33(105), pp.16-21.

Díaz-Hernández, J.J., Martínez-Budría, E. & Jara-Díaz, S., 2008. Parametric estimation of inefficiency in cargo handling in Spanish ports. *Journal of Productivity Analysis*, 30, pp. 223-232.

Díaz-Hernández, J.J., Martínez-Budría, E. & Salazar-González, J.J., 2014. Measuring cost efficiency in the presence of quasi-fixed inputs using dynamic Data Envelopment Analysis: The case of port infrastructure. *Maritime Economics & Logistics*, 16(2), pp. 111-126.

Dios-Palomares, R., Martínez Paz, J.M. & Martínez-Carrasco Pleite, F., 2006. Variables de entorno en el análisis de eficiencia Un método de tres etapas con variables categóricas. *Estudios de Economía Aplicada*, 24(1), pp. 477-497.

Doerr, O. & Sánchez, R., 2006. Indicadores de productividad para la industria portuaria. Aplicación en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Dowd, T. & Leschine, T., 1990. Container terminal productivity: A perspective. *Maritime Policy and Management*, 17, pp. 107-111.

ESPO, 2016. ESPO/EcoPorts Port Environmental Review 2016-Insight on port environmental performance and its evolution over time.

Estache, A. & Trujillo, L., 2004. La privatización en América Latina en la década de los años 90: aciertos y errores. *Revista Asturiana de Economía*, 31, pp. 69-90.

Estache, A. & Trujillo, L., 2008. Privatization in Latin America: The good, the ugly and the unfair. En G. Roland (Ed.), *Privatization Successes and Failures*. EE.UU: Columbia University Press.

Estache, A., González, M.M. & Trujillo, L., 2002. Efficiency gains from port reform and the potential for yardstick competition: lessons from México. *World Development*, 30(4), pp. 545-560.

Estache, A., Tovar, B. & Trujillo, L., 2004. Sources of efficiency gains in port reform: a DEA decomposition of a Malmquist TFP index for Mexico. *Utilities Policy*, 12(4), pp.221-230.

EU, 1997. Green Paper on sea ports and maritime infrastructure. COM (97) 678 final. Comisión Europea. Bélgica

EU, 2011. Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible. Libro Blanco del transporte. Comisión Europea Bélgica.

EU, 2015. Ex-Post evaluation of Directive 2000/59/EC on port reception facilities for ship-generated waste and cargo residues. Comisión Europea. Luxemburgo.

Eurostat, 2016. Database, <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>. Acceso 27 de octubre de 2017.

Farrell, M., 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), pp. 253-290.

Fay, M. & Morrison, M., 2007. Infraestructura en América Latina y el Caribe. Acontecimientos recientes y desafíos principales. Banco Mundial.

Figueiredo De Oliveira, G. & Cariou, P., 2015. The impact of competition on container port (in)efficiency. *Transportation Research Part A*, 78, pp. 124-133.

García-Alonso, L, Sánchez-Soriano J. & Vallejo-Pinto, J.A., 2006. La competencia interportuaria: Análisis del caso español. En G. González-Laxe & R. Sánchez (Eds.), *Lecciones de Economía Marítima*. A Coruña: Instituto Universitario de Estudios Marítimos y Netbiblo, pp. 165-192.

Georgakellos, D.A., 2007. The use of the deposit-refund framework in port reception facilities charging systems. *Marine Pollution Bulletin*, 54(5), pp. 508-520.

Gil-Ropero, A., Cerbán, M. & Turias, I., 2015. Analysis of the global and technical efficiencies of major spanish container ports. *International Journal of Transport Economics*, 42(3), pp. 377-407.

Gobierno de España, 2016. La Moncloa. Infraestructuras y Transportes, <http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/infraestructuras/Paginas/index.aspx#puertos>. Acceso 27 de octubre de 2017.

González, M.M. & Trujillo, L., 2008. Reforms and infrastructure efficiency in Spain's container ports. *Transportation Research Part A*, 42, pp. 243-257.

González, M.M. & Trujillo, L., 2009. Efficiency measurement in the port industry: A survey of the empirical evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, 43(2), pp. 157-192.

Gonzalez, M.M., Perelman, S. & Trujillo, L. (2009). Tracking the stepwise effects of regulatory reforms over time: a 'back-door' approach. *Applied Economics*, 41, pp. 211-218.

González-Laxe, F. & Novo-Corti, I., 2012. Competitividad de los puertos españoles: Respuestas del sistema portuario ante la crisis económica. Working Paper, pp. 1-25.

González-Laxe, F. & Novo-Corti, I., 2016. Concentración, especialización y liderazgo de los puertos españoles. Análisis de los efectos de la crisis económica. *Journal of Regional Research*, 35, pp. 37-65.

González-Laxe, F., 2004. Las nuevas estrategias de los desarrollos portuarios en Europa. Instituto de Estudios Marítimos. A Coruña.

González-Laxe, F., 2012a. El marco regulatorio de los puertos españoles. Resultados y conectividad internacional. *Economía Industrial*, 386, pp. 27-38.

González-Laxe, F., 2012b. Inversiones y tráfico portuario: Un análisis de la realidad española. Boletín FAL, 9.

Greene, W., 1998. Análisis econométrico. Tercera Edición. Madrid: Prentice Hall.

Guasch, J.L., 2011. La logística como motor de la competitividad en América Latina y el Caribe. Banco Inter-Americano de Desarrollo.

Heckman, J.J., 1979. Sample selection bias as a specification error. *Econometrica*, 47, pp. 153-161.

Herrera, S. & Pang, G., 2008. Efficiency of infrastructure: The case of container ports, *Economía*, 9(1), pp. 165-194.

Hicks, J.R., 1932. Marginal productivity and the principle of variation, *Economica*, 35, pp. 79-88.

Hoffmann, J., 2000. Las Privatizaciones Portuarias en América Latina en los 90: Determinantes y Resultados. Documento de trabajo. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Hwang, C.C. & Chiang, C.H., 2010. Cooperation and Competitiveness of Intra-Regional Container Ports. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8, pp. 2283-2298.

IMO, 1999. Draft guidelines for the implementation of Directive 2000/59/EC on port reception facilities.

IMO, 2012. Guidelines for implementation of MARPOL annex V. Resolution MEPC.219 (63).

Kalirajan, K., 1981. An Econometric Analysis of Yield Variability in Paddy Production. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 29, pp. 283-294.

Lam, J.S.L. & Yap, W.Y. (2008). Competition for transshipment containers by major ports in Southeast Asia: slot capacity analysis. *Maritime Policy and Management: The flagship journal of international shipping and port research*, 35(1), pp. 89-101.

Lirn, T.C., Thanopoulou, H. & Beresford, A.K.C., 2003. Transshipment port selection and decision-making behaviour: Analysing the Taiwanese case. *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, 6(4), pp. 229-244.

López, L. & Moscoso, F.F., 2005. La eficiencia portuaria colombiana en el contexto latinoamericano y sus efectos en el proceso de negociación con Estados Unidos. Documento de trabajo. Universidad Externado de Colombia.

Lovell, C.A.K., Richardson, S., Travers, P. & Wood, L., 1994. Resources and functionings: A New View of Inequality in Australia. En W. Eichhorn, (Ed.), *Models and Measurement of Welfare and Inequality*. Berlín: Springer-Verlag, pp. 787-807.

Malta Maritime Authority, 2014. Ship-generated waste management fee, Malta.

Medal-Bartual, A., 2011. Perspectivas sobre la eficiencia del Sistema Portuario Español. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA* 12, 1-20.

Medal-Bartual, A. & Sala-Garrido, R., 2011. Análisis de la eficiencia y liderazgo de los puertos españoles por áreas geográficas. *Revista de Estudios Regionales*, 91, pp. 161-182.

Medal-Bartual, A. & Sala-Garrido, R., 2011. Análisis de la eficiencia y liderazgo de los puertos españoles por áreas geográficas. *Revista de Estudios Regionales*, 91, pp. 161-182.

Medal-Bartual, A., Molinos-Senante, M. & Sala-Garrido, R., 2012. Benchmarking in Spanish seaports: A tool for specialization. *International Journal of Transport Economics*, 39(3), pp. 329-348.

Meersman, H., Strandenes, S.P. & Van de Voorde, E., 2015. Port Pricing. In C. Nash, ed. *Handbook of Research Methods and Applications in Transport Economics and Policy*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limited, pp. 329-344.

Meeusen, W., Van der Brock, J., 1977. Technical efficiency and dimension of the firm: same results on the use of frontier production functions. *Empirical Economics*, 2(2), 109-122.

Morales-Sarriera, J. Araya, G., Serebrisky, T., Briceño-Garmendía, C. & Schwartz, J., 2013. Benchmarking container port technical efficiency in Latin America and the Caribbean: a stochastic frontier analysis. Policy research working paper 6680. Banco Mundial. Washington.

Newman, S., Watkins, E., Farmer, A., Brink, P.T., & Schweitzer, J.P., 2015. The economics of marine litter. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Bremerhaven: Springer International Publishing, pp. 367-394.

Notteboom, T., Coeck, C. & Van den Broeck, J., 2000. Measuring and Explaining the Relative Efficiency of Container Terminals by Means of Bayesian Stochastic Frontier Models. *International Journal of Maritime Economics*, 2(2), pp. 83-106.

Núñez-Sánchez, R. & Coto-Millán, P., 2012. The impact of public reforms on the productivity of Spanish ports: A parametric distance function approach. *Transport Policy*, 24, pp. 99-108.

Núñez-Sánchez, R. & Coto-Millán, P., 2012. The impact of public reforms on the productivity of Spanish ports: A parametric distance function approach. *Transport Policy*, 24, pp. 99-108.

Núñez-Sánchez, R., Coto-Millán, P. & Pesquera, M.A., 2012. Cambio tecnológico y eficiencia económica en la gestión de las infraestructuras portuarias españolas. *Papeles de Economía*, 131, pp. 228-239.

Ohlenschlager, J.P. & Gordiani, G., 2012. EMSA Study on the delivery of ship-generated waste and cargo residues to port reception facilities in EU ports. EMSA/OP/06/2011. European Maritime Safety Agency.

Palantzas, G., Naniopoulos, A., Nalmpantis, D. & Theodossiou, P., 2005. The “chain” management of ship-generated waste and cargo residues in the port of Thessaloniki. *Journal of Marine Environmental Engineering*, 8, pp. 161-169.

Pérez, I., Trujillo, L. & González, M.M., 2016. Efficiency determinants of container terminals in Latin American and the Caribbean. *Utilities Policy*, 41, pp. 1-14.

Perroti, D. & Sánchez, R., 2011. La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Pitt, M.M. & Lee, L.F., 1981. The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of Development Economics*, 9, pp. 43-64.

Polglaze, J.F., 1995. Characterisation of the waste stream and the onsite vermicomposting of food wastes generated in ships of the Royal Australian Navy. Murdoch University, Perth.

Presburger Ulnikovic, V., Vukic, M. & Nikolic, R., 2012. Assessment of vessel-generated waste quantities on the inland waterways of the Republic of Serbia. *Journal of Environmental Management*, 97(1), pp. 97-101.

Puertos del Estado, 2014. Memoria de sostenibilidad del sistema portuario de interés general, Madrid.

Ríos, L.R. & Macada, A.C.G., 2006. Analysing the relative efficiency of container terminals of MERCOSUR using DEA. *Maritime Economics and Logistics*, 8, pp. 331-346.

Rodríguez-Álvarez, A. & Tovar, B., 2012. Have Spanish port sector reforms during the last two decades been successful? A cost frontier approach. *Transport Policy*, 24, pp.73-82.

Rodríguez-Álvarez, A., Tovar, B. & Trujillo, L., 2007. Firm and time varying technical and allocative efficiency: An application to port cargo handling firms. *International Journal of Production Economics*, 109, pp. 149-161.

Rodríguez-Dapena, 2006. ¿Pierden dinamismo los graneles frente a la mercancía general? En F. González-Laxe y R. Sánchez (Eds.), *Lecciones de Economía Marítima*. A Coruña: Instituto Universitario de Estudios Marítimos y Netbiblo, pp. 87-104.

Rotterdam Port Authority, 2014. Port waste handling plan 2015, Rotterdam.

Rúa Costa, C. (2006). Los puertos en el transporte marítimo. *Enginyeria d'Organització i Logística Industrial*, enero, pp. 1-21.

Sánchez, R., 2004. Puertos y transporte marítimo en América Latina y el Caribe: un análisis de su desempeño reciente. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-Naciones Unidas. Santiago de Chile.

Seguí, J. M., & Martínez, M. (2004). Geografía de los transportes. Palma De Mallorca. Working Paper, UIB.

Serebrisky, T. Morales-Sarriera, Suárez-Alemán, A., Araya, G., Briceño-Garmendía, C. & Schwartz, J., 2016. Exploring the drivers of port efficiency in Latin America and the Caribbean. *Transport Policy*, 45, pp. 31-45.

Serrano-Martínez, J.M., 2000. Evolución del tráfico marítimo de mercancías y red básica de puertos en España durante los últimos decenios. *Papeles de Geografía*, 32, pp. 165-182.

Shephard, R.W., 1953. Cost and production functions. Princeton, N.J.:Princeton Univ. Press.

Silva, D., 2008. Los puertos de América Latina en el nuevo milenio. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 3 (1), pp. 313-316.

So, S.H., Kim, J.J., Cho, G., Kim, D.K. 2007. Efficiency analysis and ranking of major container ports in Northeast Asia: An application of data envelopment analysis. *International Review of Business Research Papers*, 3(2), pp. 486-503.

Sohn, J. R. & Jung, C.M., 2009. The size effect of a port on the container handling efficiency level and market share in international transshipment flow. *Maritime Policy and Management*, 36(2), pp. 117-129.

Song, D.W., 2002. Regional container port competition and co-operation: The case of Hong Kong and South China. *Journal of Transport Geography*, 10(2), pp. 99-110.

Song, D.W., 2003. Port co-opetition in concept and practice. *Maritime Policy & Management*, 30(1), pp. 29-44.

Suárez-Alemán, A., Cullinane, K. & Trujillo, L., 2014. Time at ports in short sea shipping: When timing is crucial. *Journal of Maritime Economics and Logistics*, 16(4), pp. 399-417.

Sweeting, J.E.N. & Wayne, S.L., 2003. A shifting tide: Environmental challenges and cruise industry responses, Washington D.C.

Tongzon, J. & Heng, W., 2005. Port privatization, efficiency and competitiveness: Some empirical evidence from container ports (terminals). *Transportation Research Part A*, 39(5), pp. 405-424.

Tongzon, J.L., 1995. Determinants of port performance and efficiency. *Transportation Research Part A*, 29(3), pp. 245-252.

Tovar, B. & Wall, A., 2015. Can ports increase traffic while reducing inputs? Technical efficiency of Spanish Port Authorities using a directional distance function approach. *Transportation Research Part A*, 71, pp.128-140.

Trujillo, L., González, M.M. & Jiménez, J.L., 2013. An overview on the reform process of African ports. *Utilities Policy*, 25, pp. 12-22.

Turner, H., Windle, R. & Dresner, M., 2004. North American container port productivity: 1984-1997. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(4), pp. 339-356.

UNCTAD, 2015. Informe sobre el transporte marítimo 2015. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra.

UNEP, 2005. Marine Litter: An analytical overview. Naciones Unidas. Nairobi.

Wang, J.J. & Slack, B., 2004. Regional governance of port development in China: a case study of Shanghai International Shipping Center. *Maritime Policy & Management*, 31(4), pp. 357-373.

Wanke, P.F., 2013. Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: A two-stage network-DEA approach. *Transport Policy*, 29, pp. 145-153.

Wanke, P.F., Barbastefano, R.G. & Hijjar, M.F., 2011. Determinants of efficiency at major Brazilian port terminals. *Transport Reviews*, 31(5), pp. 653-677.

Wilmsmeier, G., Tovar, B. & Sanchez, R.J., 2013. The evolution of container terminal productivity and efficiency under changing economic environments. *Research in Transportation Business and Management*, 8, pp. 50-66.

Wu, Y. & Goh, M., 2010. Container port efficiency in emerging and more advanced markets. *Transportation Research Part E*, 46, pp. 1030-1042.

Yap, W.Y. & Lam, J.S.L., 2006. Competition dynamics between container ports in East Asia. *Transportation Research Part A*, 40(1), pp. 35-51.

Yip, T.L., Sun, X.Y. & Liu, J.J., 2011. Group and individual heterogeneity in a stochastic frontier model: Container terminal operators. *European Journal of Operational Research*, 213(3), pp. 517-525.

Yuen, A.C., Zhang, A. & Cheung, W., 2013. Foreign participation and competition: A way to improve the container port efficiency in China? *Transportation Research Part A*, 49, pp. 220-231.

Zhuang, W., Luo, M. & Fu, X., 2014. A game theory analysis of port specialization implications to the Chinese port industry. *Maritime Policy & Management*, 41(3), pp. 268-287.

Zuin, S., Belac, E. & Marzi, B., 2009. Life cycle assessment of ship-generated waste management of Luka Koper. *Waste Management*, 29(12), pp. 3036-3046.