

Ingeniería y Ciencia, ISSN 1794–9165

Volumen 5, número 10, diciembre de 2009, páginas 49–73

Caracterización de parámetros físicos de las terminales de contenedores del sistema portuario español

Caracterização de parâmetros físicos dos terminais dos contenedores dos sistema portuário espanhol

Characterization of physical parameters of the terminals of container of Spanish harbor system

Nicoletta González-Cancelas¹ y A. Camarero²

Recepción: 15-jun-2009/Modificación: 15-oct-2009/Aceptación: 15-oct-2009

Se aceptan comentarios y/o discusiones al artículo

Resumen

El empleo generalizado de ratios de gestión y explotación, tomados de bibliografía internacional que no se ajustan a la realidad del sistema portuario español, hace difícil planificar y gestionar la explotación de las terminales de contenedores españolas. Esto es consecuencia de la falta de caracterización de los parámetros físicos de las terminales de contenedores necesarios para la explotación. Las terminales de contenedores del sistema portuario español son muy heterogéneas y no se pueden caracterizar a partir de ratios de explotación internacionales, por lo que es necesario un estudio propio para poder obtener generalidades del escenario portuario español de contenedores.

La contribución del presente artículo, en el ámbito de la explotación portuaria, supone caracterizar las terminales de contenedores del sistema portuario español a partir de los valores que adoptan los parámetros físicos fundamentales

¹ Doctora Ingeniera de caminos, canales y puertos; nicol@caminos.upm.es, investigadora, Departamento de Ingeniería civil, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid-España.

² Doctor Ingeniero de caminos, canales y puertos, tr09@caminos.upm.es, profesor titular, Departamento de Ingeniería civil, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid-España.

(calado, superficie, número de grúas, etcétera) de explotación de una terminal, permitiendo conocer la realidad del sistema portuario español.

Este estudio permite caracterizar, en la actualidad, los principales parámetros físicos de explotación de las terminales de contenedores estableciendo unos ratios de gestión y explotación propios y característicos de la realidad del sistema portuario en España que ningún estudio anterior había presentado hasta la fecha.

La investigación se desarrolla en la tesis doctoral [1]. El objetivo de ésta es la obtención de parámetros de diseño de terminales de contenedores a partir de datos de la demanda, mediante un estudio sistémico de las terminales y realizando una agrupación de las mismas en función de dichos parámetros, con un alcance más amplio al desarrollado en el presente artículo, en el que sólo se presenta una parte de la tesis y cuyo objetivo es representar los valores que adoptan los parámetros físicos de explotación en las terminales de contenedores del sistema portuario español y las relaciones que se produce entre los mismos, estos valores son necesarios a la hora de abordar la planificación de una terminal.

El estudio desarrollado ha permitido concluir que las terminales de contenedores españolas son muy heterogéneas, el escenario marítimo está caracterizado por terminales pequeñas, medianas y/o grandes moviendo volúmenes de tráfico no muy elevados, cuya línea de atraque no se encuentra equipada con holgura y la superficie disponible es algo limitante.

Investigaciones futuras deberían orientarse en mejorar las limitaciones que se presentan en las terminales de contenedores españolas, apuntando por qué se producen estas especificidades y cómo éstas condicionan la explotación de las terminales tanto positiva como negativamente.

Palabras claves: sistema portuario español, terminales de contenedores, planificación y explotación portuaria, parámetros físicos de explotación portuaria, ratios de explotación portuaria.

Resumo

O uso difundido de gestão e relações de exploração a partir da bibliografia internacional que não se conformam com a realidade do sistema portuário espanhol torna difícil de planear e gerir o funcionamento dos terminais contenedores espanhol. Isto é devido à falta de caracterização dos parâmetros físicos dos terminais de contentores necessários para a operação. Terminais de contêineres no sistema portuário espanhol é muito heterogêneo e não pode ser caracterizada de coeficientes de exploração internacional, por isso precisamos de um estudo adequado para a obtenção de porta container geral espanhol fase.

A contribuição deste artigo no domínio da exploração é caracterizada terminais de contêineres do porto sistema portuário espanhol a partir dos valores tidos

parâmetros físicos (profundidade, tamanho, número de guindastes, etcétera) Operações básicas de um terminal, permitindo conhecer a realidade do sistema portuário espanhol.

Este estudo nos permite caracterizar, de momento, os principais parâmetros físicos de operação dos terminais de contentores através do estabelecimento de uma gestão e índices operacionais característica própria realidade do sistema portuário em Espanha que nenhum estudo anterior assinalou a data.

A investigação está na tese de doutorado [2]. O objetivo da tese é a obtenção de parâmetros de projeto de terminais de contêiner com dados da aplicação, através de um estudo sistemático do terminal e executar um agrupamento deles com base nesses parâmetros, com um alcance muito mais amplo para que se desenvolveu neste artigo que apresenta apenas parte da tese e pretende representar os valores tomados parâmetros físico-operacional terminais de contentores no sistema portuário espanhol e da relação que ocorre entre elas, Estes valores são necessários quando se lida com o planeamento de um terminal.

O estudo revelou que os terminais de contentores espanhol são muito heterogêneas, o estágio é caracterizado por terminais marítimos, pequenas, médias e/ou grandes volumes de tráfego em movimento, não muito alta, como a linha de amarração estão equipados com a depuração e área disponível é um pouco limitante.

Pesquisas futuras devem se concentrar em melhorar as restrições apresentadas em terminais de contentores espanhol, apontando por isso que existem essas características únicas e como essas condições de operação dos terminais positivos e negativos.

Palavras chaves: sistema portuário espanhol, terminais de contentores, planeamento e operação do porto, os parâmetros físicos de exploração dos portos marítimos, portos rácios operacionais.

Abstract

The widespread use of management and operating ratios taken from international literature that do not conform to the reality of the Spanish port system makes it difficult to plan and manage the operation of Spanish container terminals. This is due to the lack of characterization of the physical parameters of the container terminals necessary for the operation. Container terminals in the Spanish port system is very heterogeneous and can not be characterized from international operating ratios, so we need a proper study to obtain general Spanish stage container port.

The contribution of this article in the field of exploitation is characterized port Spanish container terminals port system from the values taken physical parameters (depth, size, number of cranes, etcétera). Basic operation of a terminal, allowing to know the reality of the Spanish port system.

This study allows us to characterize, at present, the main physical parameters of operation of container terminals by establishing a management and operating ratios own reality characteristic of the port system in Spain that no previous study reported to date.

The investigation is in the doctoral thesis [2]. The aim of the thesis is to obtain design parameters of container terminals using data from the application, through a systematic study of the terminal and performing a grouping of them based on these parameters, with a much broader scope to that developed in this article that only presents part of the thesis and aims to represent the values taken physical parameters operating container terminals in the Spanish port system and the relationship that occurs between them, these values are necessary when dealing with the planning of a terminal.

The study conducted has revealed that Spanish container terminals are very heterogeneous, the stage is characterized by maritime terminals, small, medium and / or large volumes of traffic moving, not very high, as mooring line is equipped with clearance and available surface area is somewhat limiting.

Future research should focus on improving the constraints presented in Spanish container terminals, pointing why there are these unique features and how these conditions the operation of both positive and negative terminals.

Key words: Spanish port system, container terminals, port planning and operation, physical parameters of operation of seaports, port operating ratios.

1 Introducción

El contexto en que se desarrolla el artículo tiene su origen en las particularidades del transporte marítimo de contenedores y sus implicaciones en los puertos. La primera cualidad hace referencia a la magnitud y crecimiento que está experimentando este tipo de tráfico. El transporte marítimo ha llegado a 504 millones de contenedores de 20 pies (*Twenty Equivalent Unit* (TEUs)) en 2008, lo que ha supuesto en los últimos 15 años un crecimiento acumulativo anual del 10 % [3]. Se prevén incrementos anuales del 10 % en los años venideros y, en concreto, para el Sur de Europa del 8 %. Para el caso español, más de 13 millones de TEUs en 2007 con un crecimiento acumulativo anual del 10,58 % respecto del año anterior, el mayor crecimiento de los últimos años y superior al crecimiento acumulativo anual de la última década que se

encuentra en torno al 7%, pero durante 2008 apenas se movieron 100.000 contenedores más que el año anterior, lo que supuso un incremento de sólo el 1%. Este crecimiento del tráfico de contenedores tiene importantes implicaciones en el tráfico marítimo a través del desarrollo de los grandes buques portacontenedores que favorecen el desarrollo de economías de escala. El buque portacontenedores más grande del mundo a día de hoy es el *Emma Maersk*, entregado en agosto de 2006, y sus cinco hermanos (todos ellos empiezan con E y llevan el nombre Maersk), tienen 398 m de eslora, 42,8 m de manga y 14,6 m de calado. El desarrollo de estos megabuques va asociado a la evolución de las grúas de muelle que han de adaptarse para poder operar dichos barcos. La grúa más grande en la actualidad es la *Super Over Post Panamax* que puede llegar a operar buques con 22 contenedores en manga, ver figura 1.

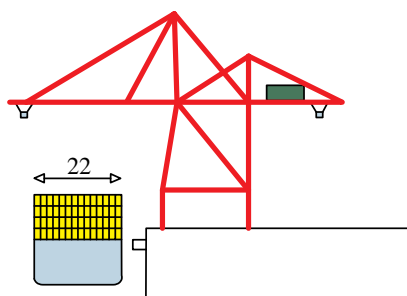


Figura 1: grúa *Super Over Post Panamax*

El sistema portuario español se compone de 28 autoridades portuarias, que gestionan 46 puertos de interés general en un régimen avanzado de autonomía de gestión. Las terminales se explotan mediante concesiones demaniales, pudiendo realizarse también mediante concesión de obra pública, lo que caracteriza la explotación de las terminales de contenedores con un sistema concesional mediante compañías privadas.

La realidad española de las terminales de contenedores es diversa y compleja. Por un lado están las terminales consolidadas con tráficos crecientes y con tipología diversa, de import/export, trasbordo, o atendiendo a ambos tráficos, operando con distinta maquinaria (*reach stacker*, *RTG*, *straddle carrier*, ...), y por otro, terminales en crecimiento que dan servicio a una zona específica como pueden ser las terminales insulares. Además, las terminales de contenedores del sistema portuario español son muy heterogéneas debi-

do a la diferente tipología de sus tráficos, la diversidad de sus equipos de manipulación y la variedad en su gestión y explotación [4, 1].

Ante esta situación, y con la necesidad de caracterizar las terminales de contenedores del sistema portuario español para determinar su potencialidad en un escenario de continuo crecimiento del tráfico, y con la necesidad de mejorar y controlar la gestión y explotación de las terminales, se ha desarrollado este estudio.

La tendencia general en el análisis de la explotación de una terminal de contenedores es comparar los ratios y parámetros internacionales que aparecen en bibliografía internacional sobre explotación y planificación portuaria [3, 5, 6], criterios con los que se explotan, y así establecer lo que una terminal se aleja o se acerca en su explotación a los valores de estos parámetros internacionales. Con el desarrollo de esta investigación se han determinado los valores propios de la explotación de las terminales de contenedores españolas y se han establecido unos ratios de explotación propios de este sistema portuario. Para la caracterización de los parámetros físicos de las terminales, el modelo de trabajo necesita de la obtención de los datos de las propias terminales para contar con los datos reales de la explotación.

2 Estado del arte

En el espacio conceptual del rendimiento portuario se emplean, habitualmente con escasa precisión, diversos términos como tráfico, capacidad, productividad, ocupación, eficiencia, etcétera. A la hora de abordar una descripción precisa del estado actual de los conocimientos en la materia es conveniente plantear una ordenación terminológica de los referidos términos. Así, una posible clasificación del rendimiento portuario [7, 8] plantea tres tipos o categorías de medición: mediciones de tráfico, mediciones de productividad y mediciones de utilización.

- Las mediciones de tráfico expresan volúmenes manipulados por unidad de tiempo, sin explicitar los recursos empleados.
- Las mediciones de productividad expresan volúmenes manipulados (producción) por unidad de recurso y por unidad de tiempo.

- Las mediciones de utilización son ratios (por ejemplo la tasa de ocupación de la línea de atraque), expresados en porcentaje, entre el uso de un determinado recurso y el máximo posible en un periodo temporal.

Así, la capacidad de una infraestructura o equipo resulta del producto de una medición de utilización por otra de productividad para una unidad temporal, que será función del nivel de servicio requerido.

El último concepto incorporado en el área de conocimiento del rendimiento portuario, desde mediados de los noventa, es el de la literatura sobre eficiencia [9]. La eficiencia [10] se entiende como la capacidad de alcanzar los objetivos programados con el mínimo de recursos disponible, logrando así su optimización o, alternativamente, puede expresarse como alcanzar el máximo objetivo para los recursos disponibles, ver tabla 1.

El conjunto de categorías e indicadores tipo para medir el rendimiento portuario puede ser reclasificado atendiendo al uso u objetivo del correspondiente indicador tipo. Así, cabe diferenciar entre mediciones de rendimiento a corto plazo y mediciones de rendimiento a largo plazo.

Las mediciones de rendimiento a corto plazo (básicas o individuales) son aquellas que caracterizan la calidad de servicio prestado a un buque o vehículo de transporte terrestre concreto. Su seguimiento por parte del control de la terminal se realiza en tiempo real, de modo que paralelamente se pueden tomar decisiones para adecuar el servicio a las necesidades del cliente.

Las mediciones de rendimiento a largo plazo (agregadas o colectivas) son aquellas que caracterizan la calidad del servicio prestado en un periodo de tiempo (mes, año). Su seguimiento y control por parte del gestor del puerto o terminal se realiza con el objetivo de la planificación de acciones a medio y largo plazo.

En relación con la literatura sobre eficiencia hay que destacar que una unidad (terminal portuaria o un puerto) se evalúa como eficiente con relación al comportamiento de otras unidades, si ninguno de sus *inputs* u *outputs* puede ser mejorado sin empeorar alguno de los restantes *inputs* u *outputs*, es decir, se incorpora la idea de la optimización. Por lo tanto, la medición de la eficiencia es un concepto relativo ya que ésta depende de los niveles de las restantes unidades y se mide con relación a ellas. En caso contrario, la unidad se califica de ineficiente y se proporciona una para la misma medida de su ineficiencia, identificándose, además, tanto las fuentes de dicha ineficiencia

Tabla 1: categorías de medición, indicadores tipo y ejemplos

Categorías	Indicador tipo	Ejemplos
Mediciones de tráfico	Volumen anual de tráfico	Toneladas/año TEUs/año
Mediciones de productividad	Productividad de grúa	Toneladas/hora de grúa
	Productividad de buque en atraque	Movimientos/hora de grúa
	Productividad de buque en puerto	Toneladas/hora en atraque
	Productividad de equipo de patio	Toneladas/hora en puerto
	Productividad de puerta	Toneladas/hora de equipo
	Productividad de recepción/entrega	Movimientos por puerta y hora
	Productividad de línea de atraque	Tiempo de rotación por servicio
	Productividad por superficie	Toneladas anuales/m de atraque
		Toneladas anuales/m ² de superficie
Medición de utilización	Utilización de muelle	Tasa de ocupación
	Utilización de superficie	% de ocupación
	Utilización de equipos	% de disponibilidad de equipos
	Utilización de puertas	% de uso de puertas

Fuente: optimización y estudio de la capacidad de terminales portuarias mediante modelos de simulación de la explotación. Determinación de los niveles de servicio. Convocatoria de ayudas de I+D+i en 2006 del Programa nacional de medios de transporte ligadas al PEIT.

como las posibles direcciones de mejora para alcanzar la eficiencia. Es decir, no se trata de un concepto de ideal absoluto, o de un objetivo a alcanzar de forma única, por lo que una unidad puede ser considerada como eficiente para un grupo de referencia, mientras que la misma unidad puede ser lo contrario si cambia el grupo de referencia. Un segundo aspecto a resaltar es

que no tiene porque existir una única unidad eficiente, ya que ese nivel de eficiencia puede afectar a más de una de ella, pero todas tienen que compartir la condición de pertenecer a la frontera definida para analizar las unidades. Estas características del análisis de eficiencia condicionan en gran medida su aplicación cuando el objetivo del estudio es el cálculo de la capacidad de una terminal.

En el análisis de eficiencia existen dos grandes grupos de técnicas: la conocida como Análisis Envolvente de Datos (*Data Envelopment Analysis* (DEA)) [11, 12, 13]; y la Estimación econométrica de funciones y distancias [14, 15, 16, 17].

La metodología de los modelos DEA supone la generalización del análisis tradicional de los ratios de actividad permitiendo considerar de forma simultánea varios *inputs* y/u *outputs*. El DEA y la estimación de funciones de frontera son alternativas para calcular la frontera de producción y, por tanto, medir la eficiencia en la producción y en los costes. A partir de estas dos técnicas se pueden obtener ratios de eficiencia relativa dentro de una muestra de unidades que se comparan con la frontera de eficiencia. La estimación de funciones frontera supone el uso de métodos econométricos (métodos paramétricos) mientras que el DEA es un método no paramétrico basado en el uso de la programación lineal.

3 Metodología

El objetivo de la metodología para la investigación ha sido definir el escenario de trabajo mediante la obtención de la información necesaria, es decir, definir el contexto en el que se desarrolla la explotación de las terminales de contenedores españolas mediante la obtención de la información necesaria que permite caracterizar las terminales de contenedores del sistema portuario español.

Los pasos en los que se ha desarrollado la metodología se resumen en la figura 2 y corresponden a:

1. **Definición de parámetros:** se definen por subsistemas los parámetros de diseño a conocer para poder caracterizar físicamente la terminal de manera que se determine la explotación.
2. **Obtención de información:** se ha diseñado un procedimiento de encuestas que permite obtener los valores numéricos que adoptan los parámetros de diseño. En el periodo de estudio, el sistema portuario español se componía de 25 terminales de contenedores, actualmente consta de 27. Las encuestas se enviaron a las 25 terminales existentes en el periodo de estudio.
3. **Análisis de los datos obtenidos:** del total de las terminales del sistema portuario, se obtuvo respuesta de 17 terminales, un 70 % del total y respecto al volumen movido representa el 95 % del tráfico total. Para comprobar la fiabilidad de los datos obtenidos de las encuestas se realizaron una serie de correcciones y comprobaciones a partir de datos de otras fuentes.
4. **Caracterización de los parámetros físicos:** se obtuvieron los parámetros finales, 50 para cada una de las 17 terminales de contenedores, con los que se establece el escenario de trabajo.

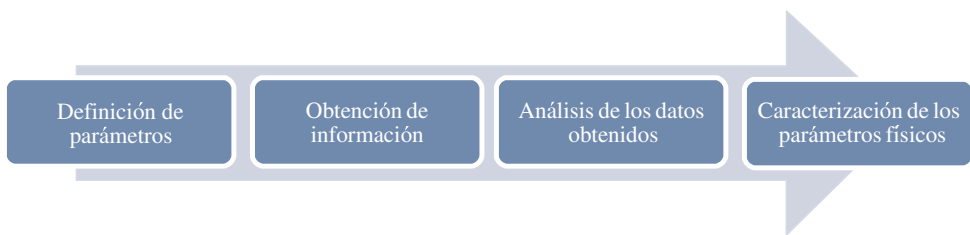


Figura 2: metodología propuesta para la caracterización de los parámetros físicos de las terminales de contenedores

Los parámetros físicos de las distintas terminales que corresponden a los datos sobre los que se realiza el análisis se solicitaron a las propias terminales, se cotejaron con otras fuentes y sólo se trabajó con los datos y las terminales que se determinaron como válidos para el estudio.

4 Resultados y futuras investigaciones

Las terminales de contenedores del sistema portuario español, durante el periodo de estudio, se representan en la tabla 2.

Tabla 2: terminales de contenedores del sistema portuario español

Terminal	Puerto
Maersk España	Algeciras
Marítima Valenciana	Valencia
Terminal de contenedores de Barcelona (TCB)	Barcelona
Operaciones portuarias Canarias S.A. (OPCSA)	Las Palmas
Terminales de Cataluña (TERCAT)	Barcelona
Terminal de contenedores de Valencia (TCV)	Valencia
Compañía auxiliar del puerto S.A. (CAPSA)	Tenerife
Terminales del Turia	Valencia
Terminales marítimas de Bilbao (TMB)	Bilbao
Abra terminales marítimas (ATM)	Bilbao
Líneas marítimas Canarias	Las Palmas
Estibadora Palmaport	Palma de Mallorca
Terminales marítimas de Vigo (TERMAVI)	Vigo
Terminales de contenedores de Alicante	Alicante
Estibadora de Ponent	Barcelona
La Candelaria	Tenerife
UTE Mertramar–Boluda–Contenemar	Sevilla
Terminales del sudeste	Málaga
Terminal La luz	Las Palmas
Compañía Gaditana de Contenedores (CONCASA)	Cádiz
Terminal Llevant	Barcelona
Terminal de contenedores de Marín	Marín–Pontevedra
Terminal de contenedores de Algeciras	Algeciras
Terminales de contenedores de Avilés	Avilés
Terminales de contenedores de Gijón (TGC)	Gijón

Como ya se ha comentado, se obtuvieron datos suficientes de las terminales que aparecen sombreadas.

4.1 Caracterización del tráfico movido

En la figura 3, se representan, ordenadas por tráfico movido en el año 2006, las 17 terminales en las que se basa el estudio.

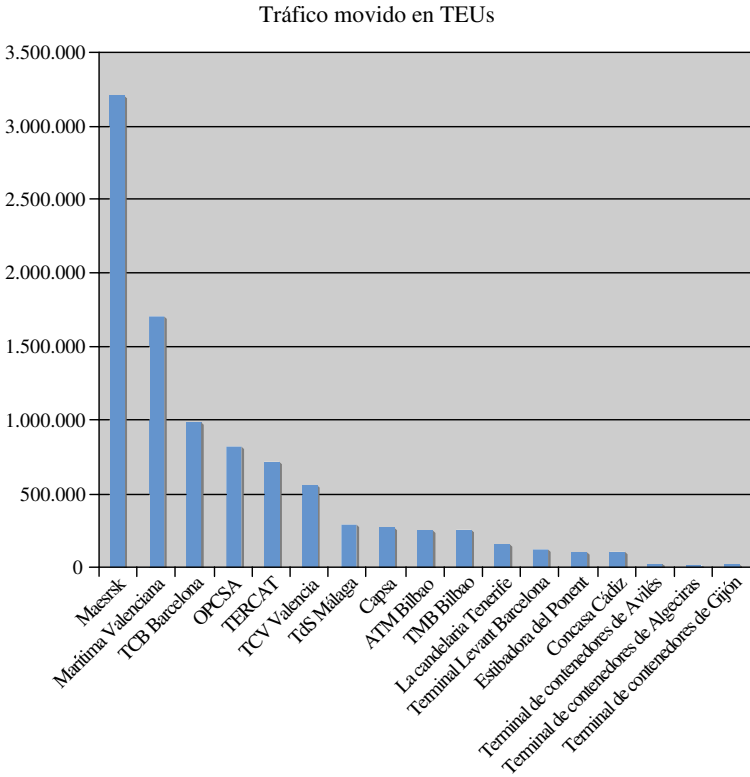


Figura 3: tráfico movido por las terminales de contenedores del estudio. TEUs (2006)

Del análisis de la figura 4 se desprende que la mayoría de las terminales de contenedores del sistema portuario español son terminales pequeñas, es decir, mueven menos de un millón de TEUs, tan sólo el 12 % de las mismas mueven volumen superior a un millón. Destaca el hecho de que el 64 % de las terminales mueva menos de 500.000 TEUs. Con el escenario de crisis actual esta tendencia sigue siendo representativa de las terminales de contenedores del sistema portuario español.

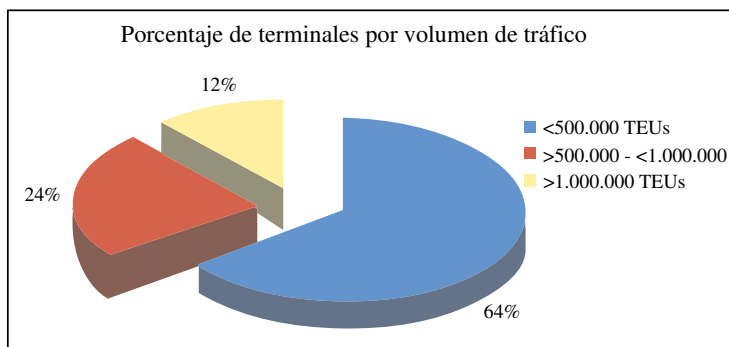


Figura 4: porcentaje de terminales por volumen de tráfico. TEUs (2006)

Respecto a la composición de los tráficos, la proporción entre contenedores de 20 y 40 pies es de 52% y 48% respectivamente, de los cuales el 62% son contenedores llenos y el 38% vacíos, ver figura 5.

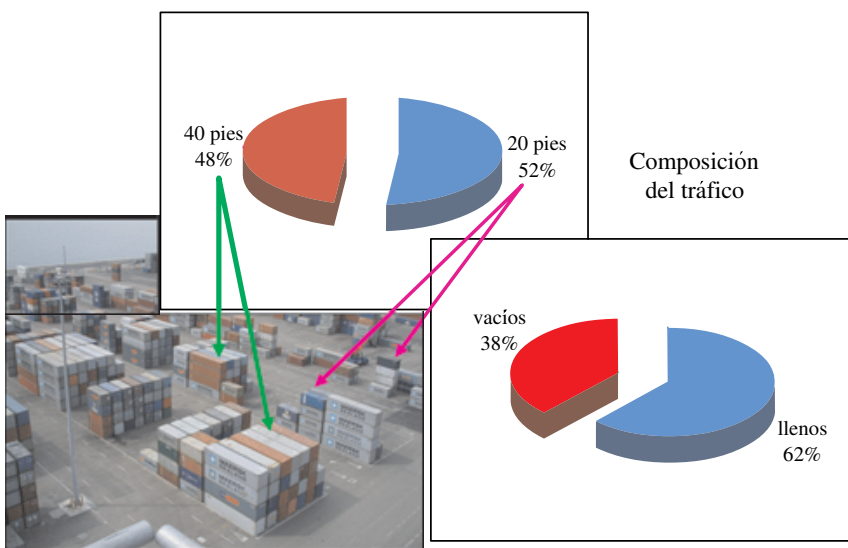


Figura 5: composición del tráfico de las terminales de contenedores

4.2 Estudio de las terminales por subsistemas

4.2.1 Análisis de las zonas de la terminal. En una terminal de contenedores se encuentran perfectamente diferenciadas tres zonas de actividad [4]:

- Zona de operación
- Zona de almacenamiento
- Zona de servicios.

Para el desarrollo de los parámetros del subsistema atraque–carga/descarga y el subsistema almacenamiento, se estudian las distintas zonas en las que se estructura la terminal. Las horquillas entre las que se encuentra el área de la zona de operaciones y los porcentajes de las terminales de estudio asociados a cada terminal se representan en la figura 6, de donde se concluye que las terminales con zona de operación inferior a 15.000 m^2 , que es aproximadamente la necesaria para operar un buque Panamax con un ancho de zona de servicios de 40 m, representa el 29 % de las mismas. Relacionando este parámetro con el ancho de la zona de operación, la media de las terminales de contenedores es de 37 m de ancho, y la moda representa tener 30 m de ancho, por lo que lo óptimo es que este parámetro esté comprendido entre 30 y 50 m.

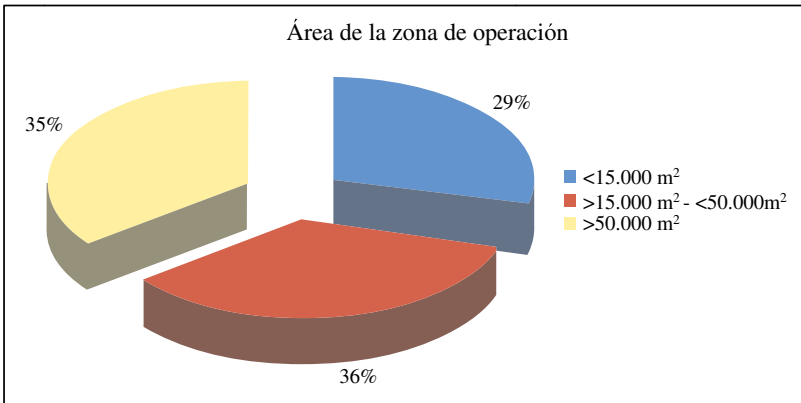


Figura 6: área de la zona de operación

El 47% de las terminales del estudio tienen una superficie de almacenamiento inferior a los 100.000 m² (figura 7), aunque un porcentaje también elevado de las mismas, el 41%, posee una zona de almacenamiento comprendida entre los 100.000 m² y los 500.000 m². La media corresponde a disponer de una superficie de almacenamiento de 222.000 m².

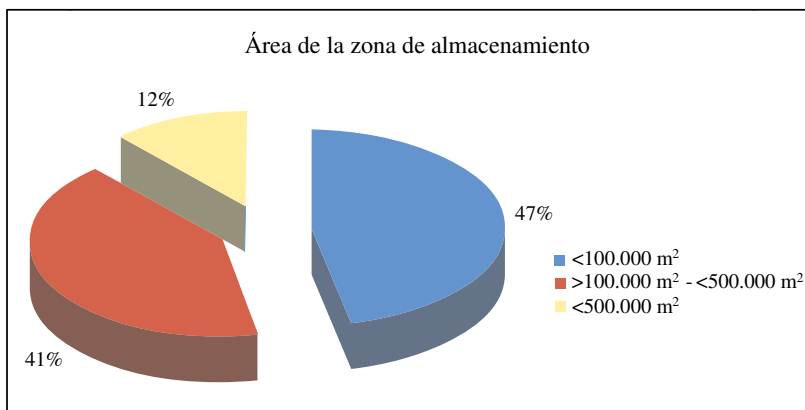


Figura 7: área de la zona de almacenamiento

El área disponible para la zona de servicios para el 65% de las terminales de estudio es inferior a 15.000 m² (figura 8), el desarrollo de Zonas de Actividades Logísticas (ZALES) anexas o próximas a los puertos permiten reducir la zona destinada a las operaciones de servicios.

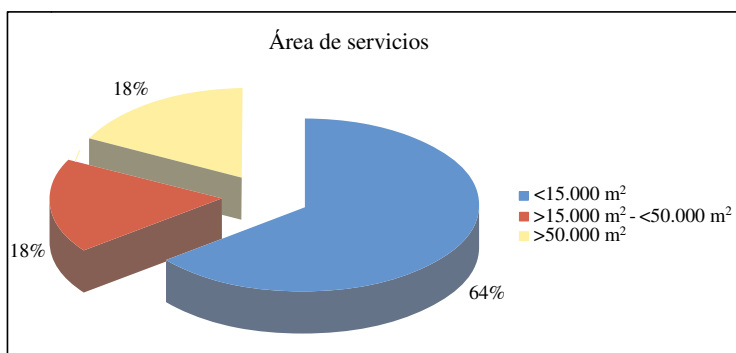


Figura 8: área de la zona de servicios

En la tabla 3 se presentan los valores medios que adoptan las relaciones entre las distintas zonas de la terminal y la superficie total de la misma, donde se refleja que la zona de almacenamiento corresponde a casi un 72,31 % del área total.

Tabla 3: valores medios de las relaciones entre las distintas áreas de la terminal y la superficie total de la misma

Zona operación/ área total (%)	Zona almacenamiento/ área total (%)	Zona servicios/ área total (%)
18,21	72,31	9,48

España, a pesar de ser un país con mucha costa, se caracteriza por la limitación de la superficie portuaria respecto a la necesaria para la explotación. Es por ello que los valores medios de las superficies de las distintas zonas no son muy elevados. La carencia de espacio con la que se encuentran las terminales de contenedores del sistema portuario español, para realizar la explotación, provoca que las terminales estén disminuyendo la zona destinada a servicios e incorporando zonas logísticas como infraestructuras anexas a la explotación. Ver figura 9

4.2.2 Análisis del subsistema atraque—carga/descarga. Para realizar el análisis del subsistema atraque-carga/descarga se realiza una caracterización de sus parámetros físicos y a partir de estos un estudio de capacidad.

Si se analiza el subsistema atraque-carga/descarga a través de los parámetros físicos de calado, longitud de atraque y número de grúas, se concluyen los resultados que se presentan a continuación.

El 28 % de las terminales del sistema portuario cuentan con calado de entre 14 y 16 m (figura 10), siendo la media correspondiente a todas ellas de 13,65 m. Entre 14 y 18 m de calado disponen el 52 % de las terminales de contenedores del sistema portuario español, lo que permitiría atender buques de quinta generación (*Super Post Panama.x*) que corresponden a los buques portacontenedores más grandes de cuantos navegan por el mundo, sus calados son de 14,4 m por lo que pueden operar perfectamente en la mayoría de las terminales, dado que el 58 % de éstas presentan calados superiores a esta cifra.

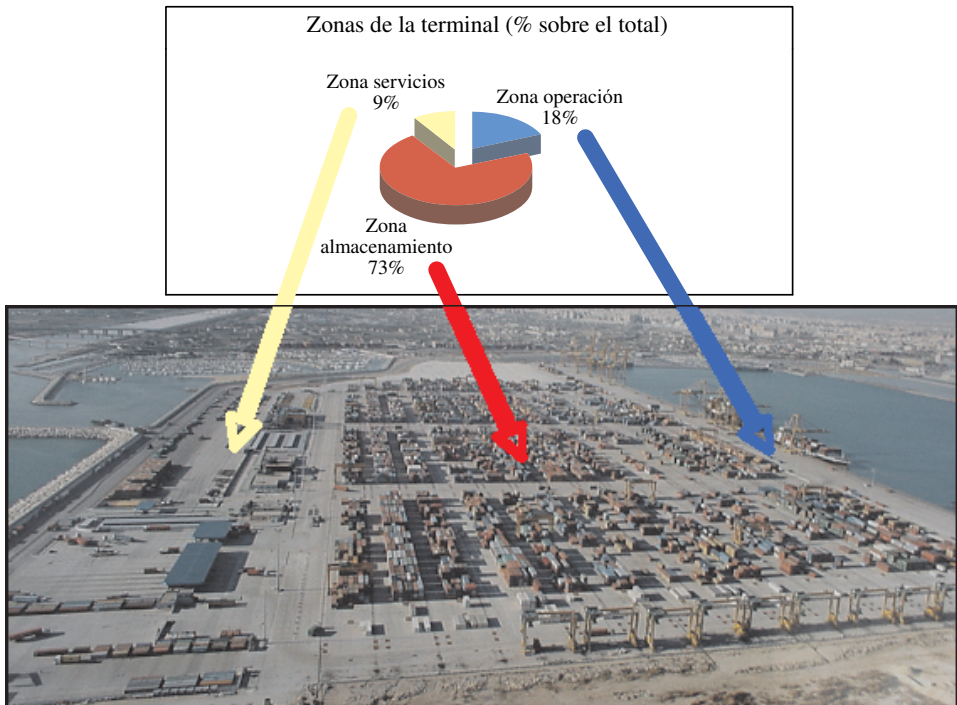


Figura 9: relación entre las áreas de la terminal

Fuente: elaboración propia apartir de la foto de la autoridad portuaria de Valencia

La longitud media de la línea de atraque de las terminales del estudio es de 870,76 m, siendo la moda, disponer de menos de 500 m de longitud de atraque, como se destaca en la figura 11, donde el 35 % de las terminales poseen una longitud de atraque inferior a los 500 m. Longitudes de atraque superiores a 500 m permiten atender a los mayores buques portacontenedores que navegan por el mundo, por lo que el 65 % de las terminales de contenedores del sistema portuario español podrían operar estos buques.

Si se analiza la oferta de calado, respecto de la longitud de atraque, se puede concluir que el 80 % de la longitud de atraque de las terminales de contenedores del estudio tienen calado superior a 14 metros.

A partir de la caracterización de los parámetros físicos, se puede estudiar

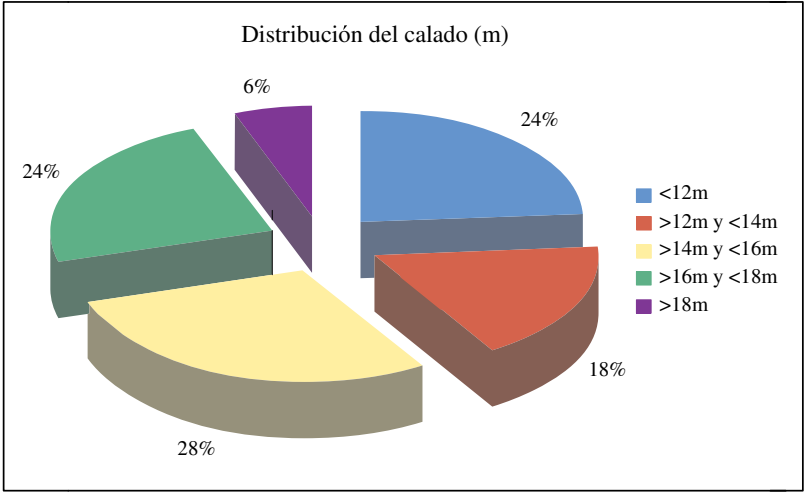


Figura 10: distribución del calado (m)

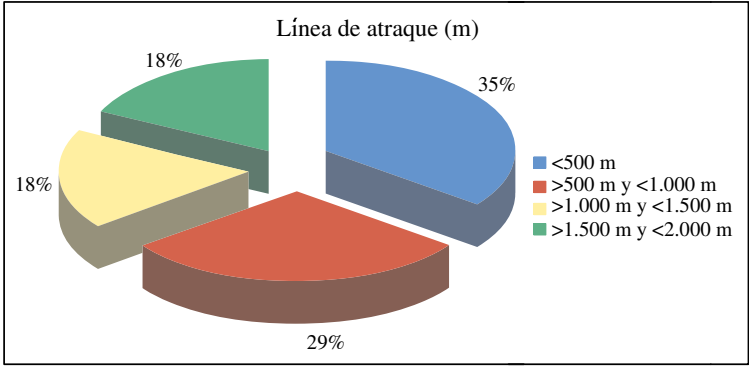


Figura 11: longitud de la línea de atraque

la capacidad por línea de atraque de las terminales. Si se pretende establecer una relación entre la capacidad representada en TEUs por metro lineal y año, y el tipo de tráfico de la terminal, así como el grado de competencia en el que desarrolla su actividad, se representan estas relaciones para las terminales del estudio en la tabla 4.

La caracterización del tráfico para las terminales de contenedores es-

Tabla 4: capacidad de terminales de contenedores por línea de atraque para terminales de contenedores del sistema portuario español

Caracterización del tráfico (llegadas) y de la competencia	Valores en TEUs/m.l. y año		
Gran % de trasbordo. Escalas muy programadas	800	800	1000
Gran % de origen/destino. Menor competencia	300	500	800
Gran % de origen/destino. Mucha competencia	100	200	500
	Tamaño de la terminal respecto a su longitud de atraque		
	Pequeña	Mediana	Grande
	> 250 m > 500 m	> 500 m < 1000 m	> 1000 m

pañolas se ha realizado de la siguiente manera: para determinar una terminal con gran porcentaje de trasbordo éste debía ser superior al 65 %, al igual que ocurre con las terminales con gran porcentaje origen/destino, todas ellas con porcentaje superior al 65 %. La caracterización de la competencia ha sido algo más laboriosa y se basa principalmente en un estudio por fachadas marítimas de las terminales de contenedores con proximidad geográfica, así como el *hinterland* y *voreland* de cada una de ellas. Respecto a la clasificación por longitud de atraque se ha tomado la analogía empleada a nivel internacional para terminales de contenedores [5] y que se puede adoptar para las terminales de contenedores españolas.

El mayor rendimiento de la línea de atraque se alcanza en los puertos con mayores tasas de ocupación por línea de atraque (TEUs por metro lineal y año) combinados con altos índices de productividad de las grúas de muelle [5], como es el caso de la terminal de Maerks en Algeciras.

Para operar las terminales del estudio emplean una media de seis grúas de muelle en la línea de atraque por terminal. De la figura 12 se concluye que el 58% de las terminales operan el atraque con menos de cinco grúas, lo que representa la moda, el hecho de que existan algunas terminales con un número elevado de grúas (superior a 10) eleva la media de grúas de muelle sobre el valor de la moda.

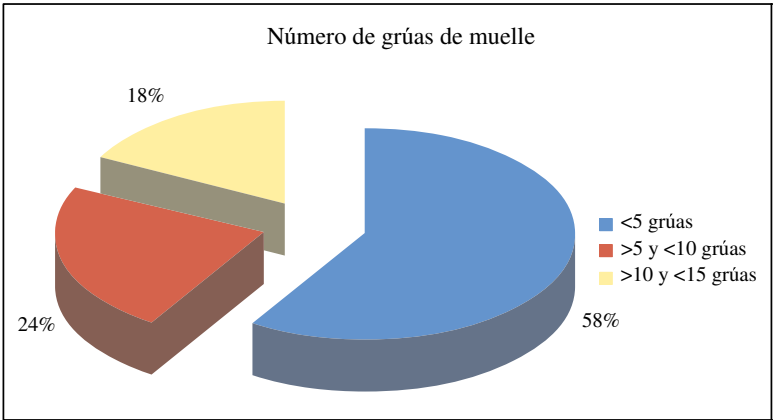


Figura 12: número de grúas de muelle

Es clásico en la planificación portuaria exigir una grúa de muelle cada 100 metros de línea de atraque como óptimo para la explotación [6]. En el caso de las terminales del estudio, todas están en cifras superiores como se representa en la tabla 5 y la figura 13.

Tabla 5: grúa de muelle cada x metros de línea de atraque

Grúas cada:	% de terminales
> 100 m de línea de atraque y < 150 m	35,3
> 150 m de línea de atraque y < 200 m	35,3
> 200 m de línea de atraque	29,4

Cerca del 30% de las terminales de contenedores del sistema portuario español poseen una grúa de muelle cada 200 metros o más de línea de atraque, lo que, cuando menos, duplica el ratio internacional de planificación. Única-

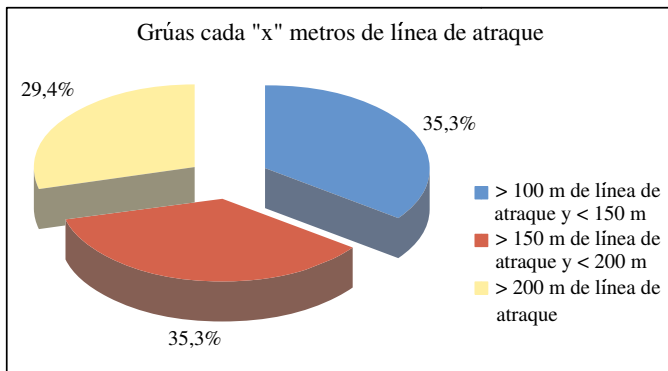


Figura 13: % de terminales con grúa de muelle cada x metros de longitud de atraque

mente dos terminales de contenedores poseen grúas de muelle cada menos de 100 m de línea de atraque.

4.3 Caracterización del subsistema almacenamiento

En el análisis de la terminal por subsistemas ya se adelantaron algunos parámetros físicos referentes de la explotación del almacenamiento.

Si se analiza el tráfico movido en TEUs por superficie de almacenamiento en las terminales del estudio, como se representa en la figura 14, se aprecia que se encuentra entre 1 y 2 TEUs por m^2 y año.

4.4 Futuras investigaciones

En la línea de este artículo se ha continuado investigando en el Departamento de Ingeniería civil. Transportes de la Universidad Politécnica de Madrid, desarrollándose otros proyectos que permiten, a partir de estos resultados, caracterizar el sistema portuario español y copiar el modelo para terminales con otra tipología de tráfico, así como empezar a estudiar en la línea de la capacidad y nivel de servicio.

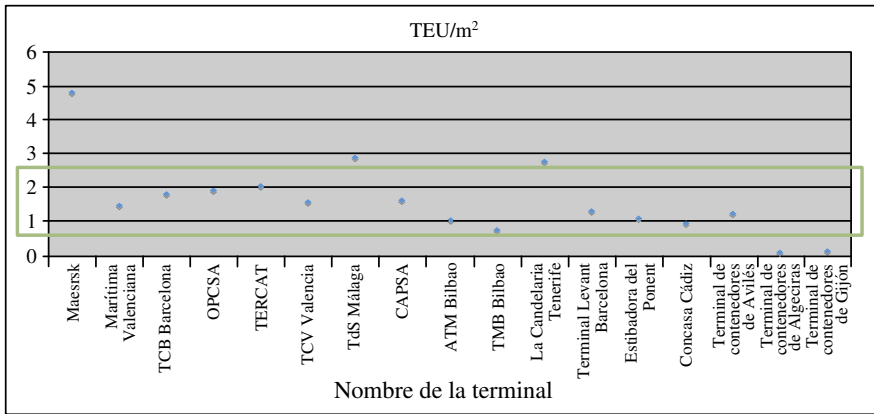


Figura 14: TEUs movidos por m² de superficie de almacenamiento para las terminales de estudio

5 Conclusiones

Con los valores obtenidos para los parámetros en los diferentes subsistemas se pueden obtener relaciones entre ellos. Si se pretende representar el valor que relaciona la superficie de almacenamiento, el tráfico total y la longitud de atraque de terminales de contenedores, se puede concluir que para el caso de terminales del estudio el ratio que representa la relación entre la superficie de almacenamiento y el atraque disponible, la nube de puntos, en el caso de estudio, corresponde a los valores de 100–300 m² de superficie de almacenamiento por metro lineal de atraque y 300–700 TEUs por metro lineal de atraque (figura 15).

Las terminales de contenedores del sistema portuario español se caracterizan por ser muy heterogéneas. Los parámetros físicos de las terminales de contenedores de estudio representan terminales pequeñas, donde se mueven volúmenes de tráfico no muy elevados (88% de las terminales moviendo menos de un millón de TEUs), más de la mitad de las terminales están preparadas para operar los mayores buques portacontenedores que navegan por el mundo respecto a las limitaciones de calado y más del 65% de ellas respecto a la longitud de atraque.

El mayor rendimiento de la línea de atraque se alcanza en los puertos con mayores tasas de ocupación por línea de atraque (TEUs por metro lineal y

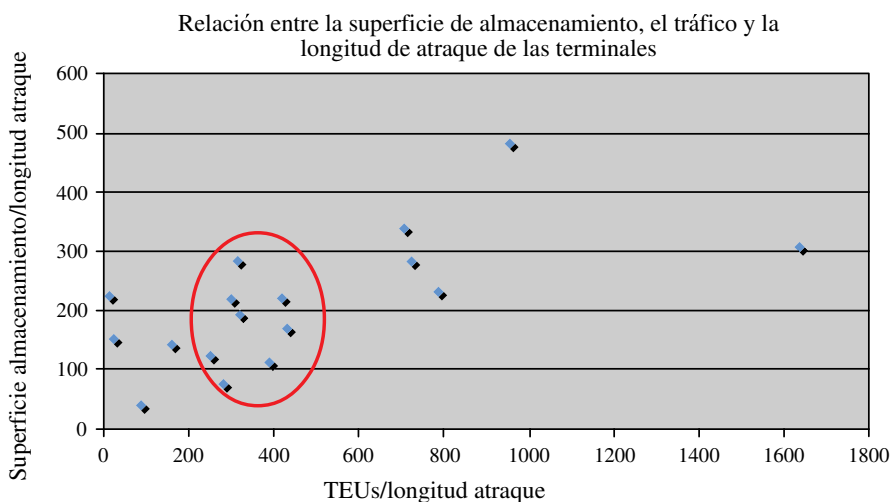


Figura 15: relación entre la superficie de almacenamiento, el tráfico y la longitud de atraque de terminales de contenedores del sur de Europa

año) combinados con altos índices de productividad de las grúas de muelle, como es el caso de la terminal de Maerks en Algeciras. Para operar las terminales del estudio emplean una media de seis grúas de muelle en la línea de atraque por terminal.

La superficie portuaria de las terminales de estudio es algo limitada respecto a los requerimientos de explotación, lo que provoca que para poder ofrecer una explotación eficiente las terminales tiendan a disminuir la zona de servicios, la zona de almacenamiento corresponde a casi un 72,31 % del área total, ocupa una parte muy elevada de la superficie total para intentar mitigar la falta de superficie portuaria en la costa española y optimizar la explotación.

La línea de atraque de las terminales del estudio no se encuentra especialmente equipada con grúas de muelle, pues se produce la existencia de una grúa por más de 150 metros lineales de muelle en el 65 % de las terminales.

El óptimo de explotación para el subsistema atraque respecto a la equipación de grúas se alcanza operando con grúas de muelle cada menos de 100 m de línea de atraque, únicamente dos terminales de contenedores del sistema portuario español cumplen este ratio. Cerca del 30 % de las terminales de

contenedores del sistema portuario español poseen una grúa de muelle cada 200 metros o más de línea de atraque, lo que, cuando menos, duplica el ratio internacional de planificación.

Referencias

- [1] M^a Nicoletta González. *Metodología para la determinación de los parámetros de diseño de terminales de contenedores*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid-España, 2007. Referenciado en 50, 54
- [2] DREWRY. *Annual Review of Global Container Terminal Operators 2008*. Drewry shipping consultants limited, Londres, 2008. Referenciado en 51, 52
- [3] Alberto Camarero y M^a Nicoletta González. *Logística y transporte de contenedores*, ISBN 978-84-611-5185-2. Fundación Agustín de Betancourt, Ministerio de Fomento, Madrid-España, 2007. Referenciado en 52, 54
- [4] Alberto Camarero y M^a Nicoletta González. *Cadenas integradas de transporte de contenedores*. ISBN 84-609-8349-8. Fundación Agustín de Betancourt, Ministerio de Fomento, Madrid-España, 2005. Referenciado en 54, 62
- [5] DREWRY. *Global Container Terminals: Profit, Performance and Prospects*, Drewry Shipping consultants limited, Londres, 2002. Referenciado en Global Container Terminals 54, 67
- [6] DREWRY. *The drewry annual container market. Review and Forecast 2004/2005*, Drewry Shipping consultants limited, Londres, 2004. Referenciado en 54, 68
- [7] Gustaaf De Monie. *Monografías de la UNCTAD sobre gestión de puertos—Medición y evaluación del rendimiento y de la productividad de los puertos*. UNCTAD, Nueva York–Naciones Unidas, 1988. Referenciado en 54
- [8] Gustaaf De Monie and Barry J. Thomas. *Improving port performance: measuring container terminal performance*. IPER, Le Havre, 1998. Referenciado en 54
- [9] María Manuela González Serrano y Lourdes Trujillo Castellano. *La medición de la eficiencia en el sector portuario: revisión de la evidencia empírica*. Tesis Doctoral, Departamento de Análisis económico aplicado, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas-España, 2006. Referenciado en 55
- [10] Amparo Medal, Arturo Monfort, Noemí Monterde y Raúl Sala. *Estudio de la eficiencia técnica y económica de las terminales portuarias*. VI Congreso de Ingeniería del Transporte–CIT2004, Zaragoza-España, 2004. Referenciado en 55

- [11] Gustaaf De Monie, Y. Hayuth and J. Roll. *Analysis of Israeli port capacity and a determination of development alternatives*. Haifa: Wydra Institute of Shipping and Aviation Research, (Hebrew), 1990. Referenciado en 57
- [12] Jose L. Tongzon. *Efficiency measurement of selected australian and other international ports*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, ISSN 0965-8564, **35**, 107-122 (2001). Referenciado en 57
- [13] María Bonilla, Trinidad Casasús, Amparo Medal and Ramón Sala. *An efficiency analysis with tolerances of the spanish ports system*. International journal of transport economics, ISSN 0391-8440, **XXXI**(3), 380-400 (2004). Referenciado en 57
- [14] Chin-I. Liu, Hossein Jula and Petros A. Ioanno. *Design, simulation and evaluation of automated container terminals*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, ISSN 1524-9050, **3**(1), 12-26 (2002). Referenciado en 57
- [15] Sergio Jara-Díaz, C. E. Cortés, A. D. Vargas and Eduardo Martínez-Budría. *Marginal costs and scale economies in Spanish ports: a multiproduct approach*. 25th European Transport Forum, Proceedings Seminar, PTRC, London, 137-147 (1997). Referenciado en 57
- [16] Beatriz Tovar, Sergio Jara-Díaz and Lourdes Trujillo. *A multioutput cost function for port terminals. Some guidelines for regulation*. World Bank Policy Research Working Paper No. 3151, 2003. Referenciado en 57
- [17] Beatriz Tovar. *Análisis multiproductivo de los costes de manipulación de mercancías en terminales*. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas, 2002. Referenciado en 57