

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas

Universidad Politécnica de Cartagena

Análisis de capacidad portuaria: intensidad media diaria de contenedores vs intensidad media anual de contenedores

Titulación: Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Autor: Pablo Yáñez González

Directora del Proyecto: María del Pilar Jiménez Gómez

Cartagena, febrero de 2014

*A mi familia, por su apoyo constante y más aún
en los momentos más duros.*

*A Cristina, por su ayuda durante los años de
estudio y su apoyo durante la elaboración de
este TFM.*

A mis amigos, por su compañía y ayuda durante
estos últimos años.

Índice

Índice de tablas	5
Índice de figuras	6
1 Objetivos del Trabajo Fin de Máster	8
2 Antecedentes	9
2.1 Reseña histórica sobre el comercio marítimo.....	9
2.2 La problemática de las principales terminales mundiales	12
2.2.1 Posibles causas	12
2.3 Medidas adoptadas actualmente para resolver la congestión portuaria.....	13
2.3.1 Medidas a corto plazo	13
2.3.2 Medidas a largo plazo	13
2.4 La importancia del estudio de una solución.....	13
3 La terminal portuaria de contenedores	15
3.1 El contenedor	16
3.1.1 Clasificación de contenedores.....	17
3.2 Clasificación y caracterización de equipamientos en terminales portuarias de contenedores	23
3.2.1 Subsistema de carga y descarga de buques.....	23
3.2.2 Subsistema de almacenamiento	24
3.2.3 Subsistema de recepción y entrega	29
3.2.4 Subsistema de interconexión	29
3.3 Tipos de terminales de contenedores.....	30
3.4 Los buques portacontenedores	35
4 La capacidad de una terminal de contenedores	39
4.1 Introducción	39
4.2 Métodos de medición	39
4.3 Cálculo analítico de la capacidad	40
4.4 Capacidad por línea de atraque	42
4.4.1 Cálculo de la capacidad según Monfort et al (2012).....	42
4.4.2 Cálculo de la capacidad según Pery et al (2003)	44
4.4.3 Cálculo de la capacidad según Jason Bryan Salminem (2013)	45
4.5 Elección de la formulación base.....	46

5	Medida propuesta para solucionar el problema de capacidad: estudio de la capacidad diaria vs la capacidad anual.....	48
5.1	Semejanzas con la IMD de carreteras	48
5.2	El factor de variabilidad en las terminales de contenedores	50
5.3	La importancia de China y el crecimiento de los buques.....	53
5.3.1	Factor de crecimiento de China	53
5.3.2	Factor de crecimiento de los buques portacontenedores.....	53
6	Resultados.....	56
6.1	Terminal de contenedores de Cartagena.....	56
6.1.1	Capacidad anual según Monfort et al (2012).....	58
6.1.2	Capacidad diaria con factor de variabilidad	58
6.1.3	Capacidad diaria con factor de crecimiento de China.....	58
6.1.4	Capacidad diaria con factor de crecimiento de los buques portacontenedores	59
6.1.5	Resumen de resultados para la terminal de Cartagena – Santa Lucía.....	59
6.2	Terminal de contenedores de Barcelona	60
6.2.1	Capacidad anual según Monfort et al (2012).....	61
6.2.2	Capacidad diaria con factor de variabilidad	62
6.2.3	Capacidad diaria con factor de crecimiento de China.....	62
6.2.4	Capacidad diaria con factor de crecimiento de los buques portacontenedores	62
6.2.5	Resumen de resultados para las terminales de Barcelona	62
6.3	Terminal de contenedores de Valencia.....	63
6.3.1	Capacidad anual según Monfort et al (2012).....	65
6.3.2	Capacidad diaria con factor de variabilidad	65
6.3.3	Capacidad diaria con factor de crecimiento de China.....	66
6.3.4	Capacidad diaria con factor de crecimiento de los buques portacontenedores	66
6.3.5	Resumen de resultados para las terminales de Valencia.....	66
7	Conclusiones.....	69
8	Futuras líneas de investigación	70
9	Bibliografía	71
	Anexo 1: Tráfico de contenedores (TEUs) en terminales con más de mil movimientos al mes (2015)	73

Índice de tablas

Tabla 1. Incoterms presentes en la última revisión de 2010. Fuente: “Guía Práctica de los Incoterms”, Olegario Llamazares.	11
Tabla 2. Densidad de almacenamiento en TEU/ha (sin contar contenedores apilados) de distintas terminales mundiales con distintos equipos de patio. Fuente: Monfort et al (2012).	35
Tabla 3. Comparativa de capacidades de las terminales de Cartagena, Barcelona y Valencia con las formulaciones de Monfort y Salminem.	47
Tabla 4. Principales rutas de contenedores del mundo según UNCTAD (2015).	55
Tabla 5. Características de la terminal de contenedores de Santa Lucía. Fuente: Memoria anual 2015 (Autoridad Portuaria de Cartagena).	57
Tabla 6. Recomendaciones sobre productividad y niveles de servicio. Fuente: Monfort et al (2012).	57
Tabla 7. Capacidad anual y diaria teórica de la terminal de Santa Lucía.	58
Tabla 8. Movimientos mensuales y variabilidad respecto a la media en la terminal de Santa Lucía. Fuente: Puertos del Estado.	58
Tabla 9. Factor de variabilidad y capacidad diaria para la terminal de contenedores de Santa Lucía.	58
Tabla 10. Factor de crecimiento de China y capacidad diaria para la terminal de contenedores de Santa Lucía.	58
Tabla 11. Principales rutas de contenedores del mundo, mayor buque que ha operado en ellas durante los años 2015 y 2014 y capacidad media de dichos buques. Fuente: UNCTAD 2015 y 2016.	59
Tabla 12. Datos necesarios para el cálculo de la capacidad diaria con el factor del crecimiento de buques y resultado en TEU/día para el Puerto de Cartagena.	59
Tabla 13. Resumen de resultados de capacidad diaria (Puerto de Cartagena).	59
Tabla 14. Características de las terminales de contenedores de Barcelona. Fuente: Memoria anual 2015 (Port de Barcelona), Anuario estadístico 2015 (Port de Barcelona) y JOC Group (2014).	61
Tabla 15. Capacidad anual y diaria teórica de las terminales de Barcelona.	61
Tabla 16. Movimientos mensuales y variabilidad respecto a la media en las terminales de Barcelona. Fuente: Puertos del Estado.	62
Tabla 17. Factor de variabilidad y capacidad diaria para las terminales de contenedores de Barcelona.	62
Tabla 18. Factor de crecimiento de China y capacidad diaria para las terminales de contenedores de Barcelona.	62
Tabla 19. Factores de crecimiento de los buques y resultado en TEU/día para el Puerto de Barcelona.	62
Tabla 20. Resumen de resultados de capacidad diaria (Puerto de Barcelona).	63
Tabla 21. Características de las terminales de contenedores de Valencia. Fuente: Anuario estadístico 2015 (Valenciaport).	65

Tabla 22. Capacidad anual y diaria teórica de las terminales de Valencia.....	65
Tabla 23. Movimientos mensuales y variabilidad respecto a la media en las terminales de Valencia. Fuente: Puertos del Estado.....	65
Tabla 24. Factor de variabilidad y capacidad diaria para las terminales de contenedores de Valencia.	66
Tabla 25. Factor de crecimiento de China y capacidad diaria para las terminales de contenedores de Barcelona.	66
Tabla 26. Factores de crecimiento de los buques y resultado en TEU/día para el Puerto de Valencia.	66
Tabla 27. Resumen de resultados de capacidad diaria (Puerto de Valencia).	66

Índice de figuras

Figura 1. Impactos de los Canales de Suez y Panamá en las rutas comerciales. Fuente: Dr. Jean-Paul Rodrigue, Dept of Global Studies & Geography, Hofstra University.....	10
Figura 2. Subsistemas de una terminal de contenedores. Fuente: Monfort et al (2011).....	16
Figura 3. Comparativa entre contenedor de 20 pies (izquierda) y contenedor de 40 pies (derecha). Fuente: Monfort et al (2011).....	18
Figura 4. Contenedor abierto por el costado. Fuente: Contraders.....	19
Figura 5. Contenedor ventilado con aberturas en el raíl superior. Fuente: Hapag-Lloyd.....	19
Figura 6. Contenedor abierto por arriba. Fuente: Contraders.....	19
Figura 7. Contenedor plataforma. Fuente: Shipping Containers 24.	20
Figura 8. Contenedor jaula. Fuente: Eurocontainer.....	20
Figura 9. Contenedor refrigerado. Fuente: Titan Containers.....	20
Figura 10. Contenedor granel sólido. Fuente: Ocidenave.....	21
Figura 11. Contenedor granel líquido. Fuente: SoloStocks.	21
Figura 12. Grúas pórtico en Southampton. Fuente: Liebherr.	23
Figura 13. Grúa móvil. Fuente: Autoridad Portuaria de Almería.	24
Figura 14. Plataforma. Fuente: Made-in-China.....	25
Figura 15. Carretilla elevadora. Fuente: NauticExpo.	26
Figura 16. Reachstacker. Fuente: Antverpia.	26
Figura 17. Straddle carrier. Fuente: Direct Industry.	27
Figura 18. Rubber Tyred Gantry Crane (RTG). Fuente: Konecranes.....	28
Figura 19. Rail Mounted Gantry Crane. Fuente: Konecranes.	28
Figura 20. AGVs en la terminal de Hamburgo. Fuente: Terex.....	30
Figura 21. Configuraciones del área de almacenamiento según el equipo de patio. Fuente: Monfort et al (2012).....	31
Figura 22. Terminal de plataformas, Gateway South Terminal, Los Ángeles. Fuente: Google Earth.	31
Figura 23. Terminal de carretillas, Puerto de Cartagena. Fuente: Google Earth.	32
Figura 24. Terminal de Reachstackers, Puerto de Castellón. Fuente: Google Earth.....	32

Figura 25. Terminal de straddle carriers, Puerto de Hamburgo. Fuente: Google Earth.	33
Figura 26. Terminal de RTGs, Puerto de Valencia. Fuente: Google Earth.....	33
Figura 27. Terminal de RMGs, Puerto de Hamburgo. Fuente: Google Earth.....	34
Figura 28. Terminal RMG más plataformas con acceso de camiones hasta el patio. Fuente: Rodríguez Dapena (2014).....	34
Figura 29. Terminal con grúas automatizadas y straddle carriers con acceso de camiones hasta el patio. Fuente: Rodríguez Dapena (2014).	35
Figura 30. Clasificación de los buques portacontenedores en la actualidad. Fuente: Ashar y Rodriguez (2012).	37
Figura 31. Evolución de las grúas portacontenedores. Fuente: Rodríguez Dapena et al (2014).37	37
Figura 32. Subsistemas de una terminal de contenedores. Fuente: Monfort et al (2011).....	41
Figura 33. Correspondencia de las tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas M/M/n, M/E ₂ /n y M/E ₄ /n. Fuente: Fundación Valenciaport.	44
Figura 34. Cortespondencia de las tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas E ₂ /E ₂ /n y E ₂ /E ₄ /n. Fuente: Fundación Valenciaport.	44
Figura 35. Variación mensual de la IMD en tres carreteras distintas. Fuente: Kraemer et al (2003).	49
Figura 36. Variación semanal de la IMD en tres carreteras distintas. Fuente: Kraemer et al (2003).	49
Figura 37. Variación diaria de la IMD en tres carreteras distintas. Fuente: Kraemer et al (2003).	50
Figura 38. Comparativa de movimientos mensuales en las terminales de Barcelona y Valencia entre 2013 y 2016. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Puertos del Estado.....	51
Figura 39. Localización del Puerto de Cartagena. Fuente: Guía de Servicios del Puerto de Cartagena.	56
Figura 40. Localización de la Terminal de Santa Lucía. Fuente: Google Earth (2016).....	57
Figura 41. Comparativa entre capacidades diarias (Puerto de Cartagena).	60
Figura 42. Localización del Puerto de Barcelona. Fuente: Memoria anual del Puerto de Barcelona (2015).	60
Figura 43. Localización de las terminales BEST (rojo) y TCB (negro). Fuente: www.portdebarcelona.cat.	61
Figura 44. Comparativa entre capacidades diarias (Puerto de Barcelona).....	63
Figura 45. Localización del Puerto de Valencia. Fuente: Google Earth (2016).	64
Figura 46. Localización de las terminales de Valencia. Fuente: Folleto Autoridad Portuaria de Valencia (2014).....	64
Figura 47. Comparativa entre capacidades diarias (Puerto de Valencia).	67
Figura 48. Variabilidad en función de la localización del puerto. Mapa base extraído del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes (2015).	67
Figura 49. Relación entre los movimientos totales anuales y la variabilidad mensual en 2015. Elaboración propia con datos de Puertos del Estado.	68

1 Objetivos del Trabajo Fin de Máster

Las terminales de contenedores son una parte cada vez más fundamental en la cadena logística. Por lo tanto, es necesario que encajen perfectamente en esta cadena, gestionando de manera adecuada el creciente tráfico marítimo.

El incremento del tráfico marítimo no se ha visto ligado a un aumento de la capacidad de las terminales de contenedores. Por ello, las grandes terminales de contenedores del mundo están sufriendo una gran congestión debido a la demanda creciente del tráfico marítimo de contenedores. Terminales como Rotterdam, Hamburgo, Vancouver, Shangai o Hong Kong sufren con frecuencia retrasos en su operación, por lo que cada vez se dedican más esfuerzos a solucionar este problema.

En este trabajo se analiza el funcionamiento de una terminal portuaria de contenedores: qué es un contenedor, qué es una terminal de contenedores, qué subsistemas la forman, qué equipos trabajan en ella. También se estudia la congestión portuaria y sus causas, para posteriormente describir las medidas tomadas para luchar contra ella.

Las metodologías actuales de cálculo de la capacidad de las terminales de contenedores no tienen en cuenta la variabilidad del tráfico. El objetivo principal es estudiar las distintas metodologías de cálculo de la capacidad de la línea de atraque de una terminal de contenedores y, posteriormente, desarrollar una formulación adaptada a la capacidad diaria, como posible medida ante la congestión que actualmente sufren las terminales portuarias de contenedores.

Una vez propuesta la formulación, se aplicará a tres puertos de la red española de Puertos del Estado, para finalizar con el estudio de los resultados y conclusiones.

2 Antecedentes

2.1 Reseña histórica sobre el comercio marítimo

El interés relativo al estudio y análisis del rendimiento de los puertos se ha mantenido vigente desde hace siglos, ya que este estudio permite el desarrollo de diversas funciones de planificación y explotación portuaria.

En sus orígenes, el transporte marítimo estuvo asociado al desplazamiento y a la pesca. Surgió, posiblemente, en la zona del Golfo Pérsico o el Mar Rojo. Los medios de propulsión eran la vela y el remo, siendo las embarcaciones muy rudimentarias. La función de facilitar el comercio surgió mucho después.

Con los romanos se le dotó de más importancia al comercio marítimo, dedicando las naves onerarias a esta función. Tenían tracción a vela y pocos remos, ya que el espacio estaba reservado principalmente a la mercancía. Esta mercancía se transportaba en ánforas protegidas por paja y atadas entre ellas o a las tablas del buque.

Con la caída del Imperio Romano en el año 395, la piratería supuso un problema para las rutas comerciales de la época. El comercio marítimo no volvió a alcanzar el esplendor vivido durante la época romana hasta los siglos XII o XIII, durante la Baja Edad Media. Fue en esta época cuando la coca se impuso como navío para el comercio, ya que era un barco robusto y de poca eslora. Además, se fundó la Hansa, una asociación de ciudades del centro y norte de Europa, propiciada por los mercaderes residentes en dichas ciudades con el propósito de comerciar libremente entre ellas.

Durante el Renacimiento se vivió un gran cambio en el comercio marítimo: las rutas comerciales se trasladaron del Mediterráneo al Atlántico, ya que se entró de lleno en la Era de los Descubrimientos. Dos barcos se utilizaban para el comercio con América: la nao (varias cubiertas) y la carabela (más ligera y con gran maniobrabilidad).

En el siglo XVII se asiste a la supremacía comercial holandesa, siendo la época del galeón. Es de este siglo uno de los primeros Conocimientos de Embarque o Bill of Lading, de 1675.

Con la llegada de la Revolución Industrial y de la máquina de vapor, se desarrolló el primer barco de vapor comercial. La sustitución de la madera por el acero como material de construcción de barcos mercantes aumentó la capacidad de carga de buques para el mismo tamaño, ya que el material es más resistente y hacen falta menos mamparos interiores.

La hélice es otro invento que contribuye a la evolución de la navegación, mejorando la hidrodinámica de los buques.

Respecto a la especialización de los buques en función de las cargas a transportar, cabe destacar que fue mínima hasta bien avanzado el siglo XIX, con la emigración europea hacia América y Australia y la construcción del primer buque destinado exclusivamente al transporte de petróleo crudo a granel.

Durante la última mitad del siglo XIX se construye el Canal de Suez, así como el Canal de Panamá en 1914, suponiendo una mejora sustancial para la navegación (Figura 1), ya que se consiguió acortar las distancias de las rutas marítimas entre Asia y Europa (Canal de Suez) y Asia y la costa Este de Norteamérica (Canal de Panamá). Los primeros años de este siglo supusieron la época dorada de los grandes trasatlánticos, facilitando las grandes migraciones desde toda Europa hasta Estados Unidos. Otros aspectos que mejoraron el tráfico comercial fueron el invento del radiogoniómetro, el radiofaro y la aguja giroscópica.

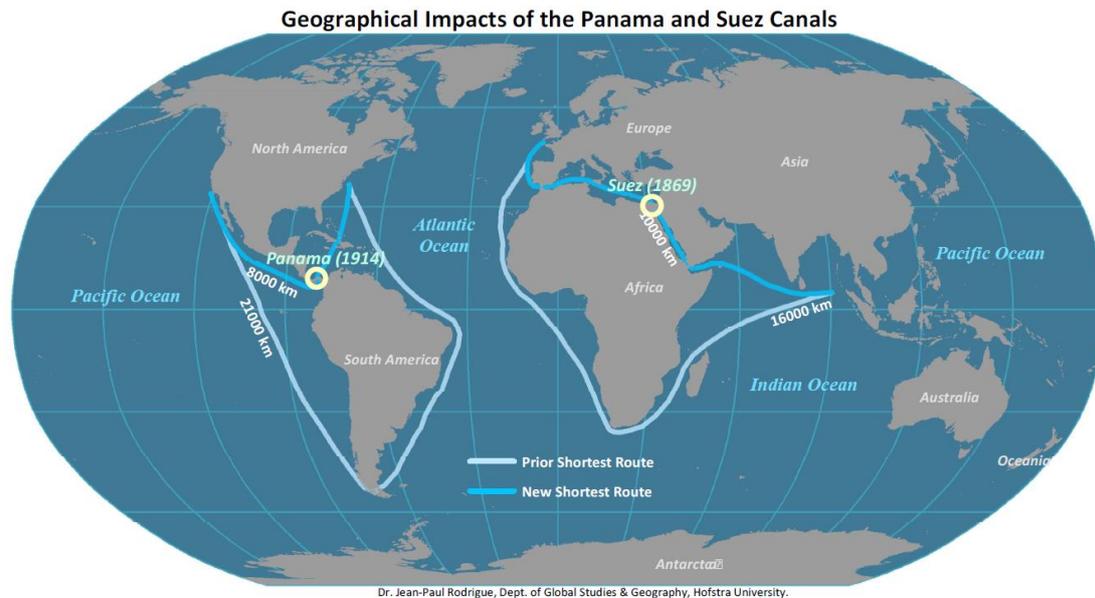


Figura 1. Impactos de los Canales de Suez y Panamá en las rutas comerciales. Fuente: Dr. Jean-Paul Rodrigue, Dept of Global Studies & Geography, Hofstra University.

La Segunda Guerra Mundial supuso la introducción de grandes avances tecnológicos, como el radar y el sonar. También se consolidó un nuevo tipo de transporte marítimo: el Roll-on Roll-off, que consiste en el transporte de mercancía rodada (vehículos generalmente).

Sin embargo, el elemento revolucionario del rendimiento portuario fue el contenedor. El contenedor fue ideado a mediados de la década de los 50 por Malcom McLean, fundador de la naviera Sea-Land en 1960. Supuso un aumento de la eficiencia al facilitar la manipulación de la carga en los nodos intermodales y una mayor seguridad para la mercancía transportada.

Como grandes ventajas desde sus orígenes puede citarse que se reducen considerablemente los costes de manipulación portuaria, los tiempos de carga y descarga, se aumenta la productividad del buque y del puerto y se reduce la exposición de la mercancía a averías, robos o pérdidas.

En cuanto a las relaciones políticas y acuerdos internacionales que promovieron el comercio internacional durante la segunda mitad del siglo XX, se deben destacar el GATT (Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio), la Organización Mundial del Comercio, la Organización Marítima Internacional, las Reglas de Hamburgo o la publicación de los Incoterms en 1936.

Los Incoterms (International Commercial Terms) supusieron una herramienta que facilitó en gran medida el comercio internacional, incluyendo el marítimo. Los Incoterms recogen un conjunto de reglas internacionales uniformes orientadas a estandarizar las compraventas internacionales, evitando incertidumbres y malentendidos en las relaciones comerciales.

Estos Incoterms regulan exclusivamente los contratos de compraventa, aclarando el lugar de entrega de la mercancía, el reparto de los gastos, la transmisión del riesgo y la responsabilidad de los trámites aduaneros. La última revisión de los Incoterms es de 2010 (Tabla 1).

Siglas	Incoterm	Tipo de transporte	Pago transporte principal	Transmisión riesgo transporte
EXW	<i>Ex Work</i> En Fábrica	Polivalente	Comprador	Origen
FCA	<i>Free Carrier</i> Franco Transportista	Polivalente	Comprador	Origen
CPT	<i>Carriage Paid To</i> Transporte Pagado Hasta	Polivalente	Vendedor	Origen
CIP	<i>Carriage and Insurance Paid To</i> Transporte y Seguro Pagados Hasta	Polivalente	Vendedor	Origen
DAT	<i>Delivered At Terminal</i> Entregada En Terminal	Polivalente	Vendedor	Destino
DAP	<i>Delivered At Place</i> Entregada en Lugar	Polivalente	Vendedor	Destino
DDP	<i>Delivered Duty Paid</i> Entregada Derechos Pagados	Polivalente	Vendedor	Destino
FAS	<i>Free Alongside Ship</i> Franco al Costado del Buque	Marítimo	Comprador	Origen
FOB	<i>Free On Board</i> Franco A Bordo	Marítimo	Comprador	Origen
CFR	<i>Cost and Freight</i> Coste y Flete	Marítimo	Vendedor	Origen
CIF	<i>Cost, Insurance and Freight</i> Coste, Seguro y Flete	Marítimo	Vendedor	Origen

Tabla 1. Incoterms presentes en la última revisión de 2010. Fuente: "Guía Práctica de los Incoterms", Olegario Llamazares.

Durante el último siglo también se han firmado numerosos Acuerdos Comerciales Regionales (ACR), que consisten en acuerdos comerciales recíprocos entre dos o más socios de la Organización Mundial del Comercio.

Actualmente, el tráfico de contenedores mundial no para de crecer. Por ello, algunas de las principales terminales europeas están sufriendo problemas de congestión, aspecto que se trata en el apartado 2.2.

2.2 La problemática de las principales terminales mundiales

Como ya se ha mencionado, el contenedor tuvo una importancia vital para el fomento del comercio marítimo. Su facilidad de manejo y polivalencia permitió abaratar el comercio internacional, lo que conllevó un aumento exponencial del tráfico marítimo.

Los puertos mundiales en general y las terminales de contenedores en particular se han convertido en trascendentales nodos logísticos, siendo cada vez más importantes en la cadena logística. Por lo tanto, es necesario que encajen perfectamente en esta cadena, gestionando de manera adecuada el creciente tráfico marítimo.

El incremento del tráfico marítimo no se ha visto ligado a un aumento de la capacidad de las terminales de contenedores. Por ello, las grandes terminales de contenedores del mundo están sufriendo una gran congestión debido a la demanda creciente del tráfico marítimo de contenedores. Terminales como Rotterdam, Hamburgo, Vancouver, Shanghai o Hong Kong sufren con frecuencia retrasos en su operación, por lo que cada vez se dedican más esfuerzos a solucionar este problema.

2.2.1 Posibles causas

Existen situaciones esporádicas que generan el colapso de algunas de las terminales de contenedores más importantes del mundo, como condiciones climatológicas inadecuadas para la operación u obras de reacondicionamiento.

Sin embargo, en gran parte de las ocasiones estos colapsos se producen debido a la falta de capacidad de las terminales, ya que estas no han evolucionado al mismo ritmo que los buques portacontenedores.

2.2.1.1 *Los grandes buques*

En los últimos 10 años se ha duplicado la capacidad de los grandes buques contenedores. Esto influye enormemente en las terminales portuarias de contenedores que no son capaces de adaptarse tan rápidamente a las demandas del mercado. Cuando varios de estos megabuques coinciden en una terminal, se produce el colapso de esta por la ineficiencia de sus instalaciones y procesos.

2.2.1.2 *El crecimiento de China*

El gigante asiático sigue creciendo a un ritmo de entre un 6 y un 7 % interanual, por lo que se sigue confiando en que siga exportando al mismo ritmo que hasta ahora. Esta demanda de transporte debe ser gestionada por las empresas navieras, que se ven abocadas a construir mayores buques (incrementando el problema mencionado en el apartado anterior). Por otra parte, las infraestructuras portuarias deben dar servicio a cada vez más contenedores provenientes del país asiático, por lo que la problemática se agrava.

2.3 Medidas adoptadas actualmente para resolver la congestión portuaria

Las medidas que se toman actualmente se pueden resumir en dos tipos: tomadas a corto plazo y a largo plazo.

2.3.1 Medidas a corto plazo

2.3.1.1 *Incorporación de más personal*

Puede ser útil cuando hay margen de actuación en cuanto a equipo y espacio disponible, pero no es una solución definitiva.

2.3.1.2 *Tarifas de congestión*

La pérdida de tiempo debida a la congestión genera grandes costes. Cualquier medida efectiva que se tome para evitar la congestión reduce los costes y aumenta la efectividad. Por otra parte, la mera existencia de congestión significa que una terminal de contenedores se puede asemejar a un bien escaso y muy valioso. Por lo tanto, la solución puede pasar por la implementación de tarifas de congestión.

Esta medida consiste en utilizar los precios de los servicios portuarios para cobrar a los usuarios las externalidades negativas que se generan en las horas pico de demanda, cuando la oferta no es suficiente para cubrirla. Por lo tanto, consiste en el aumento de las tarifas durante los periodos de mayor demanda o la introducción de alguna tasa.

Este tipo de medidas han surtido efecto en otros sectores como el del transporte por carretera, pero en el ámbito portuario sigue generando controversia el modo de distribución de esos ingresos generados con el cobro de las nuevas tasas. No hay consenso en el destino de dichos ingresos, ya que se debate entre destinarlos a las arcas públicas, a las manos privadas dedicadas a la explotación, reinvertirlos en infraestructuras o redistribuirlos entre los usuarios.

2.3.1.3 *Desvío de buques a otros puertos*

El desvío de los buques a otros puertos cercanos que sean capaces de gestionar esa demanda es una medida utilizada con frecuencia, pero tiene impactos en los costes operativos y puede generar perjuicios debido al retraso en la entrega de mercancía.

2.3.2 Medidas a largo plazo

Las medidas a largo plazo consisten, principalmente, en la modernización de los equipos de patio y almacenamiento. Algunos ejemplos son las RMGs automatizadas y los vehículos guiados automáticamente AGVs, siendo las terminales con este tipo de equipos las que menos tiempo de operación requieren y mayores capacidades ofrecen.

2.4 La importancia del estudio de una solución

La congestión tiene un gran impacto en el coste y rendimiento del transporte. Los costes relacionados con la congestión provienen de la pérdida de tiempo, el consumo adicional de combustible, posibles accidentes y otros inconvenientes derivados. Además, la congestión no solo afecta a las navieras, sino al resto de agentes implicados, tales como empresas de

transporte terrestre, empresas estibadoras y el resto de empresas encajadas dentro de esta cadena logística de la que las terminales de contenedores forman parte.

Según Hilde Meersman et al (2012), tras el análisis de varios puertos europeos y americanos, la congestión se produce principalmente en el lado de tierra. Por ello, antes de abordar el problema, es importante conocer en qué consiste una terminal portuaria de contenedores, qué tipologías y qué maquinaria puede encontrarse en ellas y exponer una visión global sobre el contenedor, como se explica en el capítulo 3.

3 La terminal portuaria de contenedores

Una terminal de contenedores consiste en un intercambiador modal dotado de una capacidad determinada de almacenamiento en tierra con el objetivo de regular los ritmos de llegada de los medios de transporte, tanto en el lado marítimo como en el terrestre. Gracias a la estandarización del contenedor y de la manipulación de este, se alcanzan altos grados de sistematización que repercuten en la rentabilidad de la terminal.

Existen numerosos tipos de terminales portuarias debido a la especialización de los tráficos y de las necesidades de manipulación de diferentes tipos de mercancías. Es por ello que las terminales portuarias pueden clasificarse en función de la mercancía, del tráfico soportado y de los equipos de manipulación.

En este caso, se va a estudiar el caso en concreto de las terminales de contenedores, que son un tipo de terminales de mercancía general.

Independientemente de la mercancía, en las terminales de contenedores la forma de presentación es el contenedor. Aunque existen contenedores de diversas clases, generalmente la manipulación es similar entre todos ellos, lo que genera gran agilidad durante la misma. De hecho, la estandarización del contenedor ha ido acompañada de la especialización y crecimiento del tamaño de los buques debido al interés de las navieras por aprovechar las economías de escala y al alto crecimiento de la demanda, que junto con los medios de manipulación, han seguido una evolución similar, pudiendo atender cada vez más tráfico de forma rápida y eficiente.

Para el análisis de la terminal portuaria de contenedores, se considera que está compuesta por cuatro subsistemas:

- **El subsistema de carga y descarga de buques o de línea de atraque.** Este subsistema es el encargado de resolver la interfaz marítima, con toda la infraestructura y equipamiento asociados a ella (ver punto 1 en Figura 2).
- **El subsistema de almacenamiento.** Generalmente es el subsistema que ocupa la mayor superficie de la terminal y su función es servir de depósito temporal de las mercancías. La disposición y extensión de este subsistema dependen de la tipología de la mercancía y de su forma de presentación, del tiempo de estancia, el volumen de tráfico, el equipamiento principal y de la lógica operacional (sentidos de circulación, alturas, zonificaciones (ver punto 2 en la Figura 2).
- **Subsistema de recepción y entrega.** Integrado por las puertas terrestres, el almacenamiento temporal y accesos para camión y ferrocarril, por las tuberías o cintas y por los espacios y equipos precisos para realizar la operación (ver punto 3 en la Figura 2).
- **Subsistema de interconexión.** Garantiza el transporte de las mercancías entre los subsistemas anteriores, por lo que no está ligado a un espacio físico en concreto. En función de la tipología de la terminal y del equipo del subsistema de almacenamiento,

se empleará una determinada maquinaria para cada movimiento y para el transporte interno de la mercancía (ver punto 4 en la Figura 2).

En la Figura 2 se aprecian los citados subsistemas, tanto en una sección tipo como en planta.

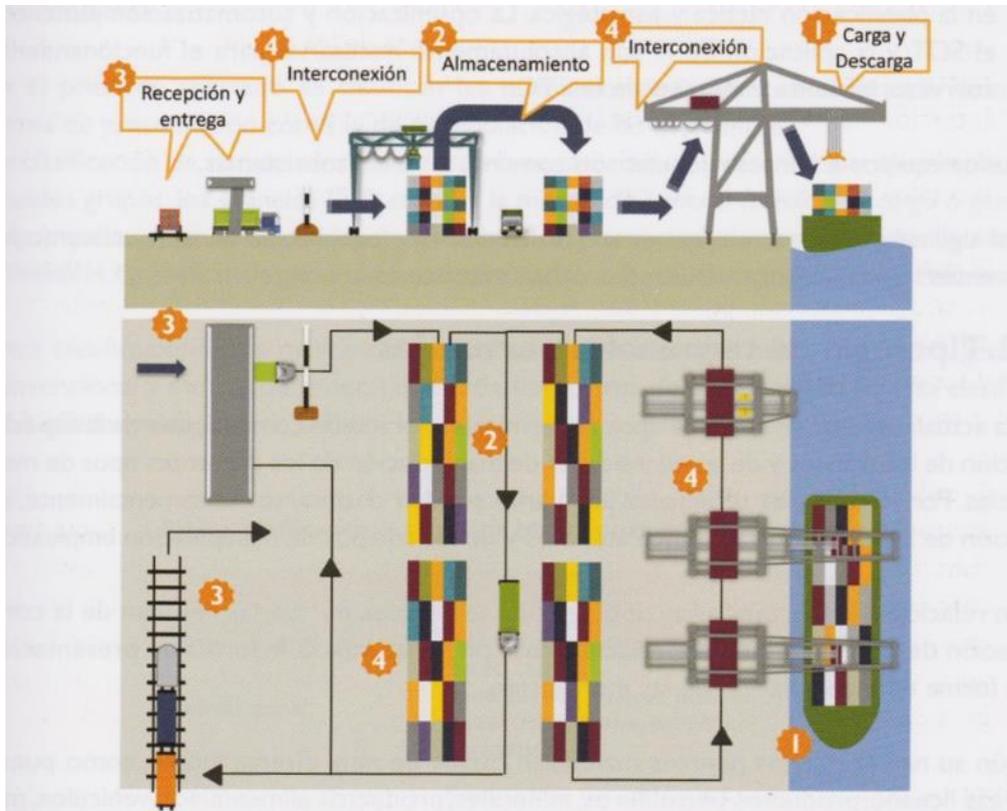


Figura 2. Subsistemas de una terminal de contenedores. Fuente: Monfort et al (2011).

3.1 El contenedor

Según la definición del Convenio Internacional sobre la Seguridad de los Contenedores (CSC) de 1972, un contenedor es un elemento de equipo de transporte:

- De carácter permanente y, por tanto, suficientemente resistente para permitir su empleo en varias ocasiones.
- Ideado para facilitar el transporte multimodal, sin manipulación intermedia de carga.
- De fácil manipulación, con cantoneras (piezas situadas en las esquinas para facilitar su sujeción al transporte).
- De un tamaño tal que la superficie delimitada por las cuatro esquinas inferiores exteriores sea, por lo menos, de 14 metros cuadrados o, como mínimo, de 7 metros cuadrados si lleva cantoneras superiores.

Como ventajas del transporte en contenedor se encuentran la facilidad del transporte puerta a puerta, la reducción del trámite documental y los costes de almacenamiento e inventario, menor deterioro, menor riesgo de robos y menor gastos de embalaje debido a la eliminación de manipulaciones intermedias de la mercancía, mayor productividad, menor necesidad de

mano de obra, menor tiempo de estancia en puerto de los buques o la versatilidad de mercancías transportables.

En cuanto a los inconvenientes, se deben citar la gran inversión inicial necesaria para el transporte en contenedores, la necesidad del transporte a gran escala, la reducción de la rentabilidad si el contenedor no viaja lleno y la necesidad de una logística de ámbito mundial.

3.1.1 Clasificación de contenedores

Los contenedores pueden clasificarse según diferentes criterios como el tamaño, la forma de presentación de la mercancía, el material de fabricación o la propiedad del contenedor.

3.1.1.1 Clasificación según el tamaño

En 1995, la International Organization for Standardization (ISO) publicó la norma ISO 668 “Series 1 freight containers”, que contenía tres series diferentes de contenedores:

- Serie 1: medidas en unidades inglesas y con anchos de 8 pies, altos de 8 pies y 6 pulgadas y largos de 10, 20, 30 y 40 pies. Los pesos máximos se fijaban en 10, 16, 24, 25,4 y 30,8 toneladas, respectivamente.
- Serie 2: definida en unidades internacionales y adaptada a las medidas de las redes de transporte europeo-occidentales.
- Serie 3: centrada en las medidas del ámbito soviético.

Las series 2 y 3 no llegaron a ser normas debido a la popularidad que alcanzó la Serie 1. Por otro lado, la dificultad de aprovechar el interior de la Serie 1 con los europalés hizo que la ISO propusiera una nueva serie, incluyendo:

- Longitudes de 24,5 y 49 pies y que además de sus cantoneras ordinarias tuvieran cantoneras intermedias.
- Anchura interior de 2,44 metros para favorecer el llenado con europalés.
- Altura de 8 pies y 6 pulgadas y una adicional de 9 pies y 6 pulgadas llamado contenedor high cube.

El peso máximo se mantuvo en 30,48 toneladas, admitido como límite de cualquier contenedor.

El contenedor de 30 pies entró en desuso y con la Enmienda de 2005 la ISO añadió un nuevo largo de 45 pies.

El 95 % de la flota mundial son contenedores de 20 y 40 pies (Figura 3), lo que da una idea de la estandarización alcanzada. Como consecuencia de ello, se creó el concepto de TEU (Twenty-foot Equivalent Unit), de manera que un contenedor de 40 pies son 2 TEUs.



*Figura 3. Comparativa entre contenedor de 20 pies (izquierda) y contenedor de 40 pies (derecha).
Fuente: Monfort et al (2011).*

3.1.1.2 Clasificación de contenedores según la forma de presentación de la mercancía

El contenedor ha pasado de la caja metálica estándar original al desarrollo de varios tipos de contenedores destinados a transportar una amplia gama de mercancías. Según la forma de presentación de esta, los contenedores se clasifican de la siguiente forma:

- Para mercancía general:
 - Cerrado.
 - Gran cubicación.
 - Contenedor pallet wide.
 - Abierto por los costados (Figura 4).
 - Ventilado (Figura 5).
 - Abierto por arriba (Figura 6).
 - Plataforma (Figura 7).
 - Jaula (Figura 8).
 - Plegable.
 - Refrigerado (Figura 9).
 - Isothermo.
- Para graneles sólidos (Figura 10).
- Para graneles líquidos (Figura 11).



Figura 4. Contenedor abierto por el costado. Fuente: Contraders.



Figura 5. Contenedor ventilado con aberturas en el raíl superior. Fuente: Hapag-Lloyd.



Figura 6. Contenedor abierto por arriba. Fuente: Contraders.



Figura 7. Contenedor plataforma. Fuente: Shipping Containers 24.



Figura 8. Contenedor jaula. Fuente: Eurocontainer.



Figura 9. Contenedor refrigerado. Fuente: Titan Containers.



Figura 10. Contenedor granel sólido. Fuente: Ocidenave.



Figura 11. Contenedor granel líquido. Fuente: SoloStocks.

3.1.1.3 Clasificación de contenedores según el material

La estructura principal de los contenedores, incluidos los travesaños inferiores y los elementos de refuerzo, se fabrica en acero. En cambio, el suelo colocado sobre los travesaños inferiores es de madera. El material de las paredes y del techo suele ser acero corten, aunque puede ser de aluminio o madera contrachapada con fibra de vidrio.

En la fabricación de los contenedores tipo reefer o isoterms se utiliza aluminio para la estructura, acero inoxidable para los paneles internos y fibra de vidrio o aluminio para los paneles exteriores.

Las ventajas del acero son las siguientes:

- Alta resistencia.
- Empleo indiscutible en las zonas donde la exigencia resistente sea mayor.

- Coste menor que el aluminio.
- Reduce el riesgo de daños en la mercancía.
- Sus problemas de corrosión y oxidación han sido eliminados en gran medida por el uso de pinturas y productos anticorrosivos.

Sus inconvenientes son:

- Mayor peso que otros materiales.
- Problemas de corrosión.
- Alto coste de mantenimiento.

Las ventajas del aluminio frente al acero son:

- Más ligero.
- Excelentes propiedades para el aislamiento.
- Gran resistencia a la corrosión.

Y sus inconvenientes:

- Propenso a la formación de brechas por golpes.
- Alto coste de adquisición.
- Corrosión galvánica en contacto con otros metales.

Los contenedores de madera contrachapada con fibra de vidrio presentan las siguientes ventajas:

- Son los de menor peso de los tres presentados.
- Reparación y mantenimiento más sencillos y de menor coste.
- No presenta problemas de oxidación o corrosión.

En cambio, es el material menos resistente.

3.1.1.4 Clasificación según la propiedad del contenedor

Los contenedores pueden ser:

- **Propiedad de la naviera.** Aproximadamente el 50 % de la flota mundial de contenedores. Supone un menor coste que el alquiler, pero requiere grandes inversiones iniciales. Generalmente, las navieras son propietarias de los contenedores de uso habitual, es decir, los cerrados convencionales.
- **Alquilados o intercambiados con otra naviera.** Este tipo de contenedores supone el 45 % de la flota mundial de contenedores. Por razones de flexibilidad, todas las navieras recurren en mayor o menor medida al alquiler, por ello existen empresas especializadas que adquieren grandes flotas de contenedores para ello.
- **Propiedad del usuario.** Estos contenedores suponen menos del 5 % del total de la flota mundial de contenedores. Suelen ser unidades de características específicas, como contenedores para transporte de productos químicos o granel sólido.

3.2 Clasificación y caracterización de equipamientos en terminales portuarias de contenedores

En este apartado se van a introducir los equipamientos utilizados en los diferentes subsistemas de la terminal portuaria de contenedores.

3.2.1 Subsistema de carga y descarga de buques

El muelle o línea de atraque es la infraestructura que soporta el subsistema en cuestión, formando parte de la interfaz marítima-terrestre.

En este subsistema se presentan dos tipos de operaciones relacionadas con la parte terrestre: una relacionada con el buque (atraque y desatraque) y otra de atención a la mercancía (carga y descarga de contenedores). Para la carga y descarga de contenedores existen dos tipos básicos de grúas de muelle: las grúas pórtico y las grúas móviles, siendo estas últimas más polivalentes y las primeras diseñadas específicamente para operar con contenedores.

Algunos buques llevan grúas en sus cubiertas, siendo equipos anteriores a la generalización del uso de grúas muelle en los puertos.

Las grúas de muelle son el equipamiento principal del subsistema de carga y descarga de las terminales de contenedores. La transferencia de contenedores entre el buque y el patio debe realizarse de forma ágil, evitando cuellos de botella que repercutan en el rendimiento global de las instalaciones.

3.2.1.1 Grúas pórtico

Las grúas portacontenedores o STS (Ship to Shore) son grúas pórticos montadas sobre carriles paralelos a la línea de atraque sobre los que se desplazan para atender diferentes bodegas del buque (Figura 12).

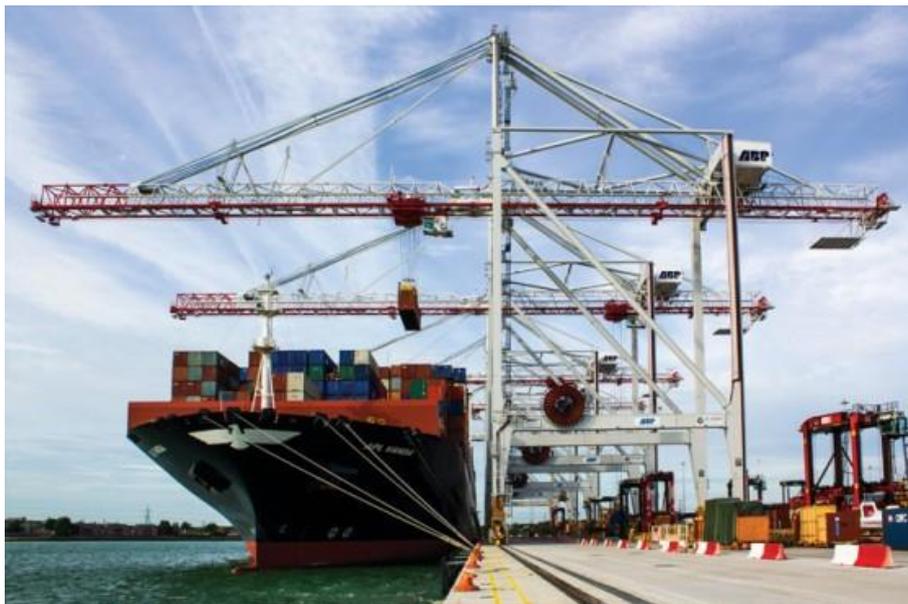


Figura 12. Grúas pórtico en Southampton. Fuente: Liebherr.

Estas grúas tienen una pluma por la que se desliza un carro que traslada el contenedor entre el buque y el patio. Existen numerosos tipos de plumas, como las abatibles, las abatibles articuladas, las de cuello de ganso o las retráctiles.

Las dimensiones de estas grúas han crecido en paralelo al crecimiento de los buques, construyéndose grúas de mayor alcance frontal, mayor altura de elevación, mayor alcance en bodega... Con estas nuevas dimensiones, los movimientos de izado, traslación y descenso del carro deben ser cada vez más rápidos para mantener los rendimientos. Este aumento de dimensiones y de capacidades de las grúas provocan mayores pesos y presiones sobre los muelles (condicionando la estructura) y un incremento en las acciones mecánicas sobre la estructura, por lo que necesitan ser más resistentes y robustas.

3.2.1.2 Grúas móviles

Las grúas móviles sirven para la carga y descarga de todo tipo de mercancías. Sus principales ventajas son su versatilidad y movilidad, aunque su uso en terminales de contenedores está restringido a terminales de pequeño tamaño (Figura 13).



Figura 13. Grúa móvil. Fuente: Autoridad Portuaria de Almería.

3.2.2 Subsistema de almacenamiento

En este subsistema se produce el depósito temporal de los contenedores en el patio de la terminal, permitiendo el trasvase modal entre el buque y el camión o el ferrocarril.

Este sistema es el que más espacio consume, por lo que se intenta obtener el máximo aprovechamiento de la superficie posible con el objetivo de alcanzar la mayor capacidad disponible, lo que puede repercutir en el rendimiento.

Los equipos más utilizados en este subsistema son los chasis o plataformas, las carretillas, los reachstackers, los straddle carriers, los RTGs y los RMGs, que se explican a continuación.

3.2.2.1 Plataformas

En este tipo de terminales, los contenedores se almacenan sobre las plataformas dispuestas como un aparcamiento de vehículos. Cuando hay que trasladarlos, una cabeza tractora remolca el chasis (Figura 14) y lo transporta al lugar indicado.



Figura 14. Plataforma. Fuente: Made-in-China.

Este sistema ha sido utilizado en puertos con mucho espacio o donde el coste del suelo es bajo. Sin embargo, el problema de que las plataformas no puedan emplearse fuera de la terminal y la poca densidad de almacenamiento que este sistema conlleva ha generado que esté perdiendo cuota frente a otros sistemas.

El espacio consumido es amplio debido a que no se puede apilar en altura, se necesitan viales anchos para permitir maniobrar al conjunto y, por último, es necesario una zona de almacenamiento de plataformas vacías.

3.2.2.2 Carretillas

Las carretillas o FLT (Figura 15) son equipos capaces de trasladar y elevar los contenedores permitiendo su apilamiento. Se pueden emplear tanto como sistemas de almacenamiento en patio como para transporte horizontal e incluso equipo auxiliar para operaciones de recepción y entrega.



Figura 15. Carretilla elevadora. Fuente: NauticExpo.

Habitualmente se utilizan como equipo de apoyo y para apilado y traslado de contenedores vacíos, dejando las labores de traslado de contenedores llenos a otros sistemas, como los reachstackers.

3.2.2.3 Reachstackers

El reachstacker (Figura 16) es una carretilla elevadora con una pluma telescópica inclinada que permite alcanzar contenedores situados en segunda fila.



Figura 16. Reachstacker. Fuente: Antverpia.

La enorme versatilidad del reachstacker permite utilizarlo en el almacenamiento en patio como para el transporte interno en la terminal o para la recepción y entrega de camiones y ferrocarril.

Aunque la anchura del bloque de contenedores se puede duplicar respecto a la de carretillas, la capacidad de almacenamiento sigue siendo muy reducida debido al espacio necesario para viales.

Otro de sus inconvenientes es su difícil automatización, al igual que las carretillas, debido al elevado número de grados de libertad de estos equipos.

3.2.2.4 *Straddle carriers*

Los straddle carriers (Figura 17) son carretillas pórtico que cargan el contenedor entre sus patas en paralelo a su dirección de desplazamiento y pueden elevarlo varias alturas. Consiguen una doble función de traslación y elevación, lo que permite el transporte en horizontal, el apilado y la realización de operaciones de recepción y entrega en camiones.



Figura 17. Straddle carrier. Fuente: Direct Industry.

Las principales ventajas frente al resto de sistemas son su flexibilidad operativa, su velocidad y su mejor aprovechamiento del espacio (pasillo de 1,5 m entre bloques), frente a sus principales inconvenientes: la limitada altura de apilado y el coste de mantenimiento.

3.2.2.5 *Rubber Tyred Gantry Cranes (RTGs)*

Los RTGs (Figura 18) son grúas pórtico autopropulsadas sobre neumáticos que se desplazan siguiendo trayectorias rectilíneas gracias a su motor de explosión. Durante esta trayectoria rectilínea van formando pilas de contenedores entre sus patas, siendo capaces también de trasladarse a otros bloques de contenedores gracias a los sistemas de giro que implementan.



Figura 18. Rubber Tyred Gantry Crane (RTG). Fuente: Konecranes.

El aprovechamiento del espacio es mucho más intensivo que los equipos anteriores, por lo que suele usarse en aquellas terminales donde el espacio escasea.

3.2.2.6 Rail Mounted Gantry Cranes (RMGs)

El RMG es una grúa pórtico similar al RTG, pero desplazable sobre raíles. Generalmente tiene dimensiones mayores, lo que le confiere un mejor aprovechamiento de la superficie de patio debido al tamaño de las pilas. Además, son el sistema más sencillo de automatizar.



Figura 19. Rail Mounted Gantry Crane. Fuente: Konecranes.

Como inconvenientes, cabe destacar que son muy pesados y poco flexibles, así como difíciles de operar.

3.2.3 Subsistema de recepción y entrega

Este subsistema resuelve la interfaz entre el modo terrestre y la terminal. Una operación de recepción es aquella en la que se descarga un camión o un ferrocarril, mientras que una de entrega es agregar un contenedor a alguno de estos medios de transporte.

La gestión de la operativa en este subsistema y el equipamiento utilizado dependen principalmente del tipo de equipo empleado en el subsistema de almacenamiento.

Para las terminales de carretillas o reachstackers, son estos mismos equipos los que trasladan los contenedores entre el patio y los vehículos externos. Si se utilizan straddle carriers, la recepción y entrega de camiones se realiza en una zona destinada a ello. El straddle carrier traslada el contenedor entre el patio y la zona habilitada para la entrega y es allí donde se descarga o carga el camión. Por último, en el caso de grúas pórticos RTG o RMG, la recepción y entrega de camiones se hace en el propio pórtico. Si el patio es de RTGs, para la carga y descarga de ferrocarriles se utilizan equipos como carretillas o reachstackers.

3.2.4 Subsistema de interconexión

Este subsistema se encarga del traslado de contenedores entre el resto de subsistemas. El equipamiento utilizado en patio determina el tipo de transporte horizontal a utilizar en cada movimiento. Estos movimientos de interconexión son:

- Traslado de contenedores entre el muelle y el patio. El transporte horizontal se puede realizar con la combinación tractor más plataforma (en el caso de grúas pórticos en patio), con carretillas si son estas las que se utilizan en la terminal, con reachstackers o straddle carriers y con AGVs (Automated Guided Vehicles) en terminales automatizadas en cuyo patio se utilizan pórticos automatizados (Figura 20).
- Traslado de contenedores entre el patio y la zona de recepción y entrega de camiones o ferrocarril. Para el caso de los camiones se suele utilizar el propio equipo de patio, siendo comunes las carretillas y los reachstackers para el ferrocarril.
- Otros movimientos.



Figura 20. AGVs en la terminal de Hamburgo. Fuente: Terex.

3.3 Tipos de terminales de contenedores

A continuación, se presentan las tipologías de terminales de contenedores en función del equipamiento:

- **Terminales de chasis o de plataformas.** El almacenamiento se realiza sobre plataformas. Las grúas descargan directamente los contenedores sobre los chasis y los traslados internos se hacen con cabezas tractoras que los remolcan. Habitualmente estos chasis no sirven para circular fuera de la terminal, por lo que se necesita el apoyo de carretillas en la operación de recepción y entrega para transportar los contenedores entre los camiones externo y los chasis internos (Figura 22).
- **Terminales de carretillas.** Todos los movimientos son realizados por carretillas (Figura 23).
- **Terminales de reachstackers.** Es una terminal similar a la anterior, sustituyendo las carretillas por reachstackers (Figura 24).
- **Terminales de straddle carriers.** Estos versátiles equipos realizan todos los movimientos de la terminal excepto la atención al ferrocarril. Para atender a este tipo de tráfico se recurre a reachstackers y otro tipo de carretilla (Figura 25).
- **Terminales de RTGs, tractor y plataforma.** las terminales que utilizan RTGs en el patio de almacenamiento suelen apoyarse en el sistema tractor más plataforma para hacer la transferencia de contenedores entre muelle y patio. Los pórticos atienden la recepción y entrega de camiones externos, aunque para el ferrocarril necesitan equipos auxiliares como carretillas (Figura 26).
- **Terminales RMGs, tractor y plataforma.** De una forma similar a la tipología anterior, los RMGs se encargan de la gestión del patio y de la recepción y entrega terrestres. Son el sistema más utilizado para la manipulación de contenedores en terminales ferroviarias ya sean portuarias o interiores. A su vez, necesitan apoyo de tractores y plataformas para la transferencia de contenedores entre muelle y patio (Figura 27).

Como se observa en la Figura 21, para cada equipo cambia la configuración del patio, siendo la disposición para chasis la menos densa y la disposición para RMG la más densa.

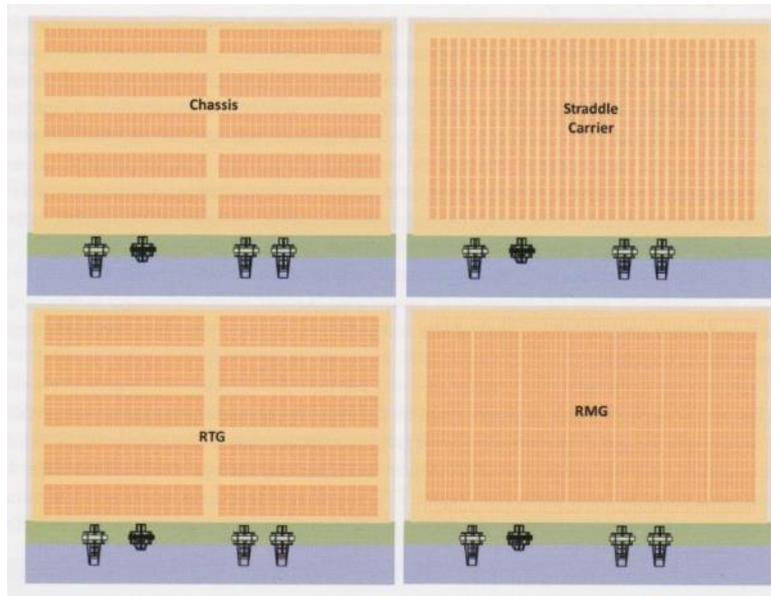


Figura 21. Configuraciones del área de almacenamiento según el equipo de patio. Fuente: Monfort et al (2012)

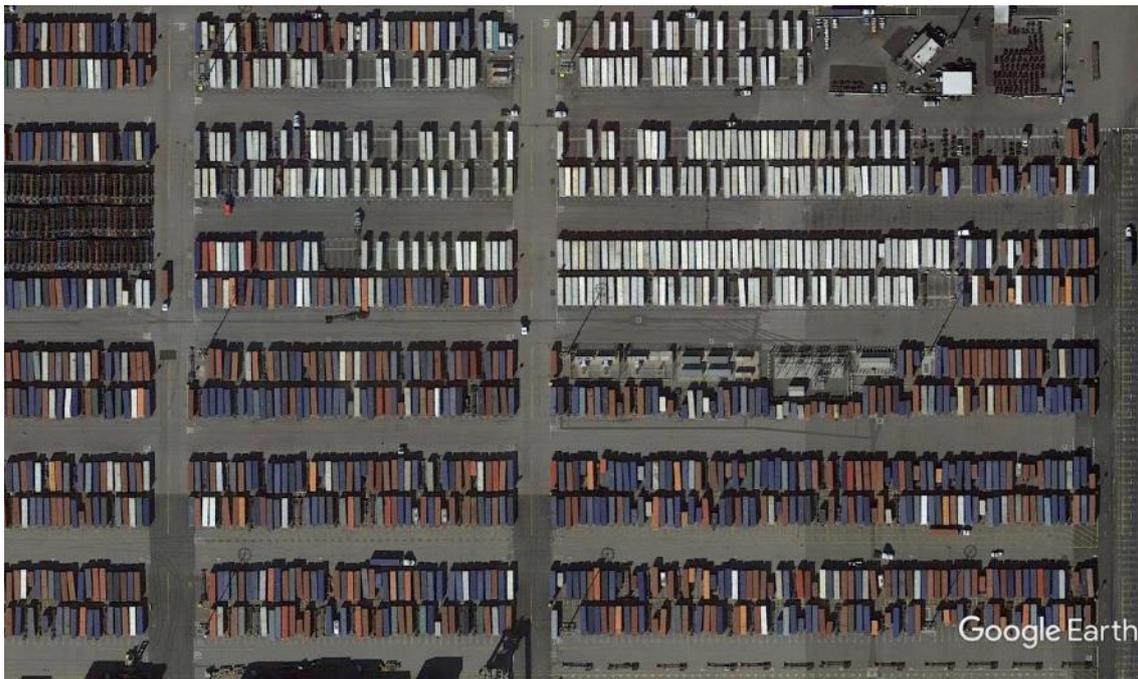


Figura 22. Terminal de plataformas, Gateway South Terminal, Los Ángeles. Fuente: Google Earth.

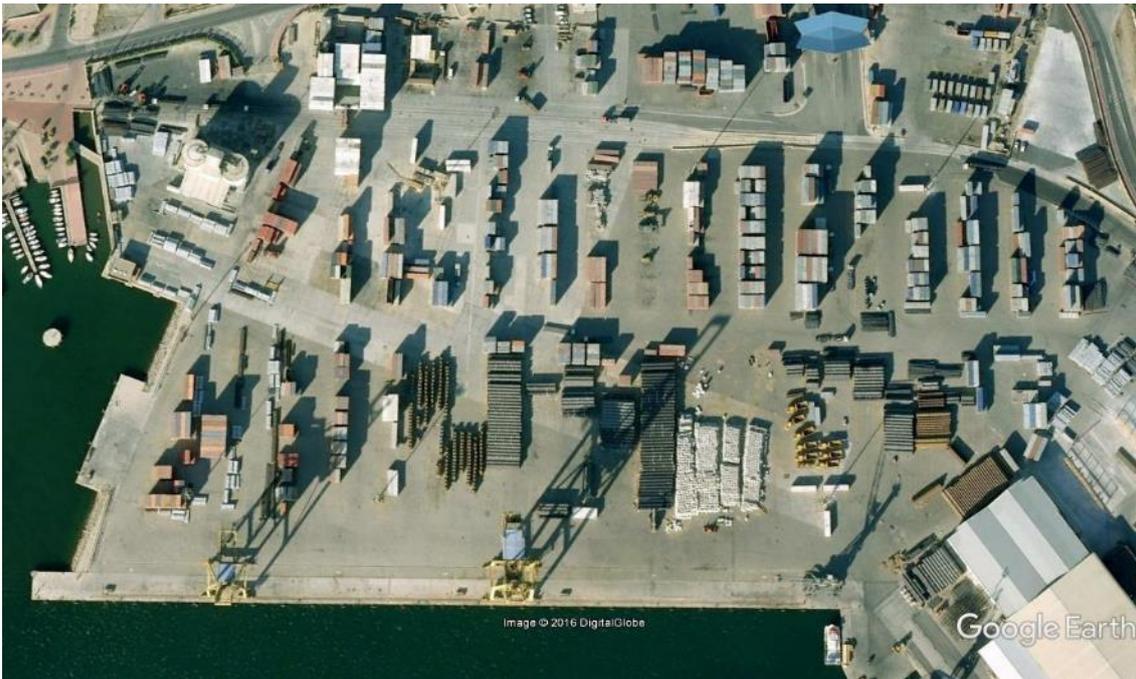


Figura 23. Terminal de carretillas, Puerto de Cartagena. Fuente: Google Earth.



Figura 24. Terminal de Reachstackers, Puerto de Castellón. Fuente: Google Earth.



Figura 25. Terminal de straddle carriers, Puerto de Hamburgo. Fuente: Google Earth.

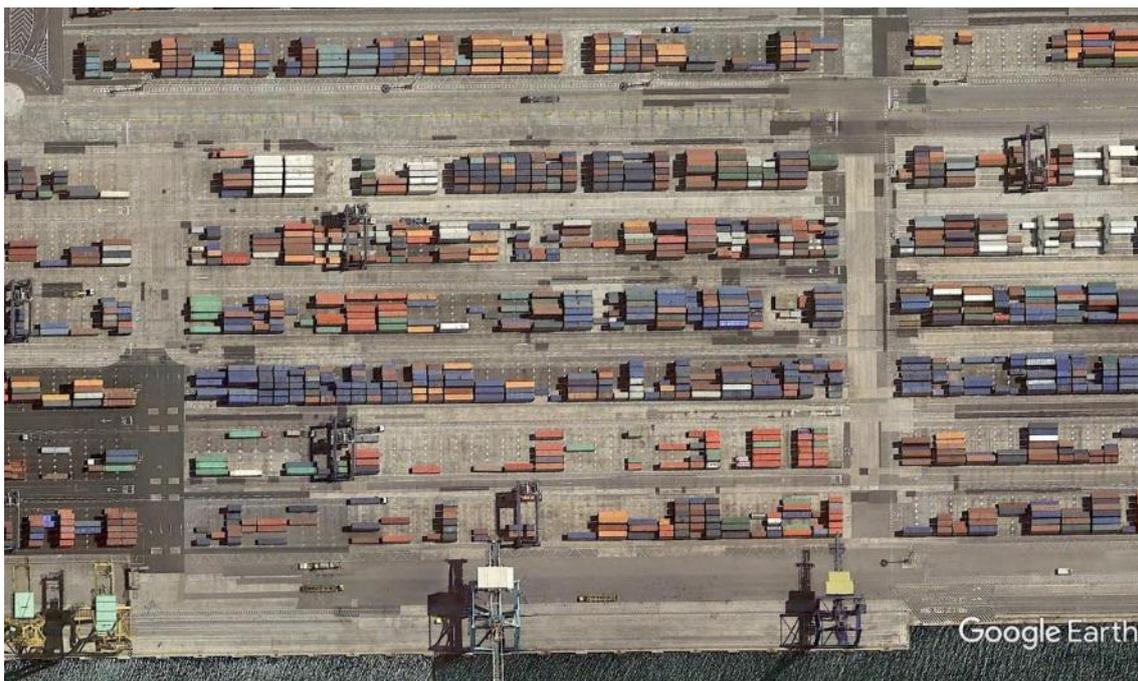


Figura 26. Terminal de RTGs, Puerto de Valencia. Fuente: Google Earth.

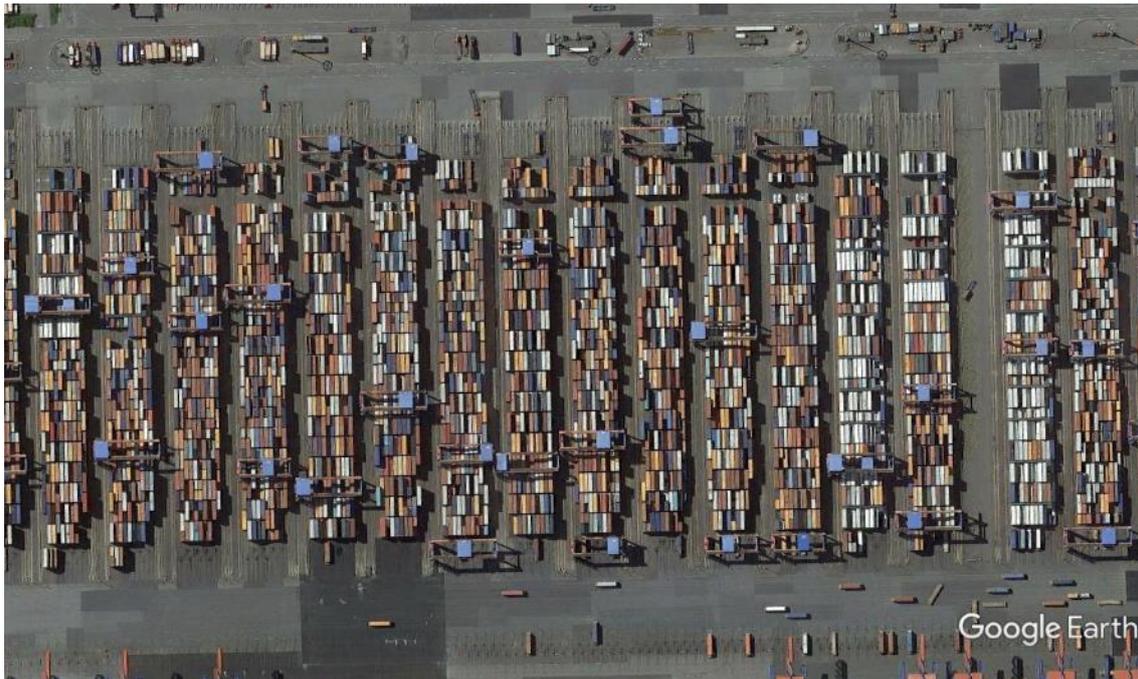


Figura 27. Terminal de RMGs, Puerto de Hamburgo. Fuente: Google Earth.

En la Figura 28 y Figura 29 se aprecia la diferencia existente entre una terminal con RMG más plataformas y una terminal automatizada en lo que a modo de operar se refiere. Como se puede observar, las distancias recorridas en el primer caso son mayores que en el segundo, con la consiguiente disminución de productividad que ello conlleva.

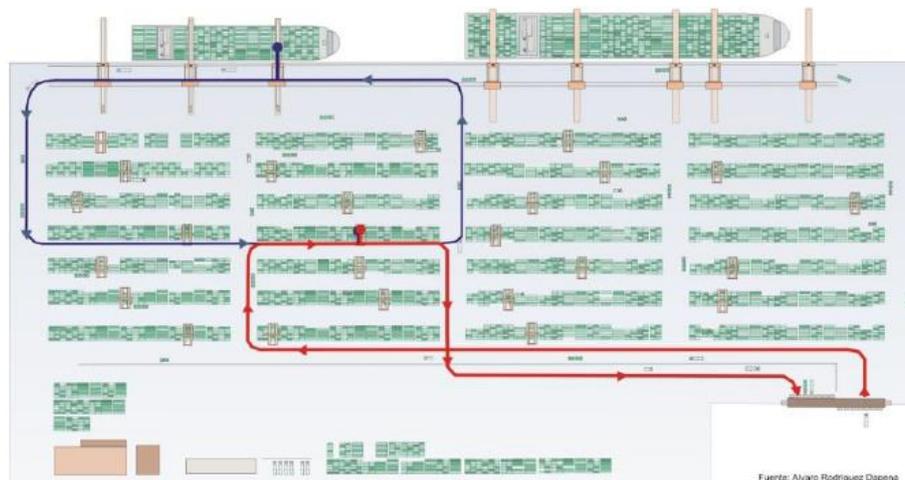


Figura 28. Terminal RMG más plataformas con acceso de camiones hasta el patio. Fuente: Rodríguez Dapena (2014).

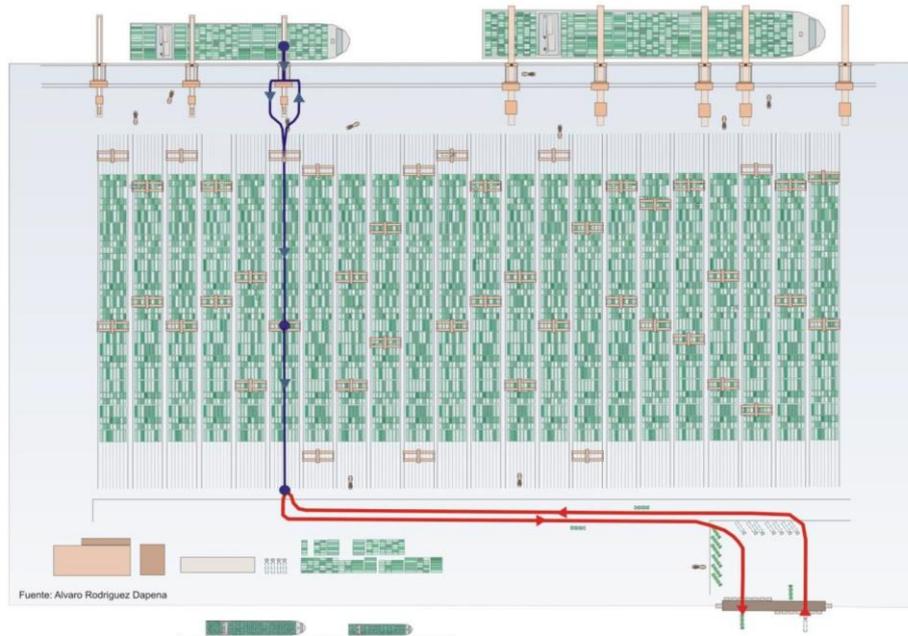


Figura 29. Terminal con grúas automatizadas y straddle carriers con acceso de camiones hasta el patio.
 Fuente: Rodríguez Dapena (2014).

En la Tabla 2 se muestra la densidad de almacenamiento por unidad de superficie de 6 terminales con 6 equipos diferentes. La densidad de almacenamiento mostrada no tiene en cuenta los contenedores apilados. Las terminales tipo RMG obtienen la densidad más alta, junto con los straddle carriers, pero se debe tener en cuenta que las RTG tienen mayor capacidad de apilamiento.

Terminal	Global Gateway South Terminal, Los Angeles (EE.UU.)	Terminal P. Castellón, Castellón (España)	Eurogate Container Terminal, Hamburgo (Alemania)	MSC Terminal Valencia, Valencia (España)	London Thamesport (Reino Unido)
Equipo	Plataforma	RS	SC	RTG (6+1)	RMG (9)
Densidad de almacenamiento en TEU/ha.	257	201	283	268	372

Tabla 2. Densidad de almacenamiento en TEU/ha (sin contar contenedores apilados) de distintas terminales mundiales con distintos equipos de patio. Fuente: Monfort et al (2012).

3.4 Los buques portacontenedores

Como se ha tratado en el capítulo 2.2.1.1, uno de los principales causantes de la congestión en las terminales de contenedores es la aparición de los grandes buques portacontenedores. En este capítulo se procede a clasificarlos y a mencionar su capacidad.

A principios de los años setenta del siglo XX se consideraba “gran buque” a aquel con una capacidad de carga de 2.000 TEU. En cambio, el buque más grande en la actualidad (2016), el

MSC Oscar, puede transportar 19.224 TEU. En solo 40 años se ha multiplicado casi por 10 la capacidad de los buques portacontenedores.

Teniendo en cuenta ese dato, la clasificación de los buques portacontenedores cambia con el tiempo, ya que las navieras encargan cada vez buques más grandes. Aun así, actualmente la clasificación más extendida es aquella vinculada con el tamaño del buque y los canales que pueden cruzar para realizar su ruta. En el caso de los buques portacontenedores, el canal limitante es el Canal de Panamá, dando lugar a la siguiente clasificación:

- Buques portacontenedores tempranos. Son los primeros buques portacontenedores que se construyeron. No tenían capacidad para más de 2.500 TEU (zona A de la Figura 30).
- Buques Panamax. Buques cuyas dimensiones son las máximas que permite el cruce del antiguo canal de Panamá. Tienen una capacidad de entre 3.000 y 4.500 TEU (zona B de la Figura 30).
- Buques Post Panamax. Buques de mayor tamaño que el Panamax, que no podrían cruzar el antiguo canal de Panamá. Tienen una capacidad de entre 4.000 y 8.000 TEU (zona C de la Figura 30).
- Buques New Panamax. Buques cuyas dimensiones permiten el cruce del actual canal de Panamá. Tienen una capacidad de en torno a 12.500 TEU (zona D de la Figura 30).
- Post New Panamax. Son aquellos buques que no pueden cruzar el canal de Panamá tras su ampliación. Son capaces de transportar más de 15.000 TEU, llegando a más de 19.000. Dentro de esta clasificación se encuentran los buques Triple E de Maersk, con una capacidad de 18.000 TEU (zona E de la Figura 30).

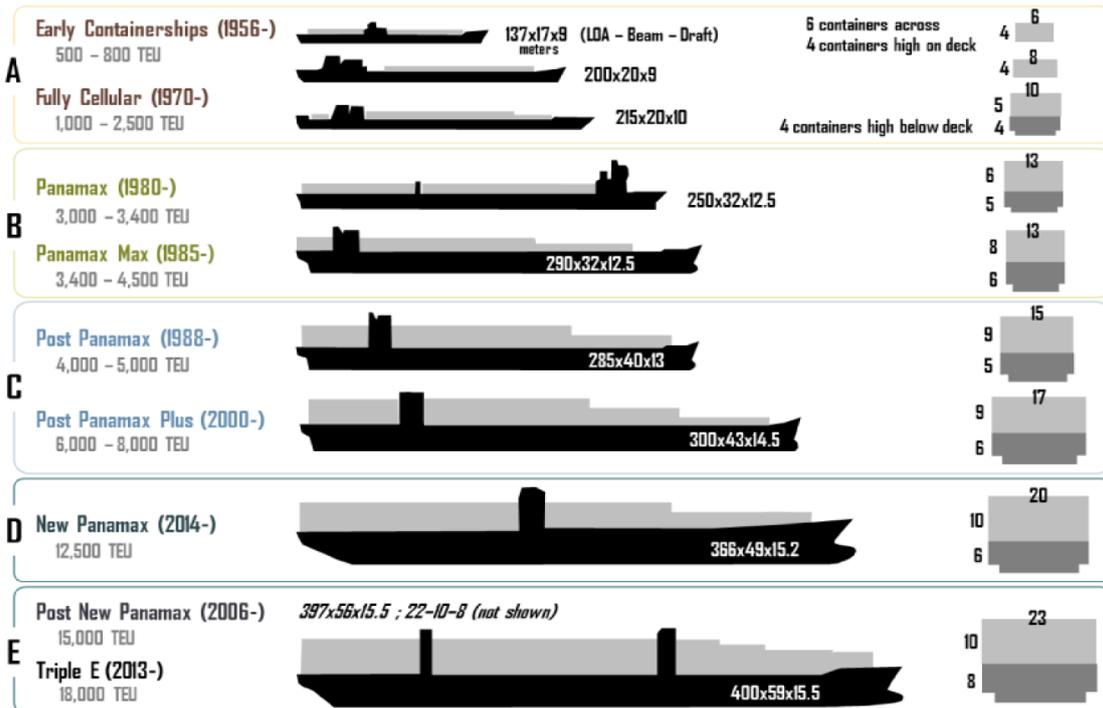


Figura 30. Clasificación de los buques portacontenedores en la actualidad. Fuente: Ashar y Rodriguez (2012).

El crecimiento de los buques ha generado a su vez un crecimiento en tamaño de las terminales portuarias de contenedores y de la maquinaria que opera en ellas. Las empresas fabricantes de grúas también han tenido que adaptar sus características a los nuevos buques, dotándolas de mayor capacidad y mayor alcance. En la Figura 31 se aprecia la evolución de las grúas portacontenedores, pasando de dar servicio a 10 filas de contenedores para buques Feeder a 22 filas en el caso de los buques Super Post Panamax.

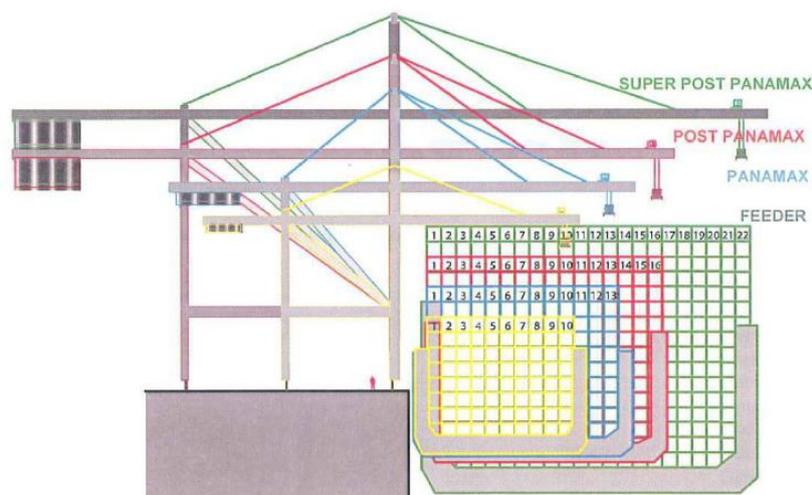


Figura 31. Evolución de las grúas portacontenedores. Fuente: Rodríguez Dapena et al (2014).

Una vez mostrado qué es un contenedor y los tipos existentes, el flujo operacional, la clasificación y las partes de una terminal portuaria de contenedores, los equipos que operan en ella y los distintos buques que atracan en estas terminales, se ha puesto de manifiesto que los equipos y buques que intervienen en estas infraestructuras determinan de forma inequívoca su productividad y rendimiento. Por ello, es necesario describir todos estos conceptos antes de desarrollar el aspecto clave de este trabajo: el cálculo de la capacidad de la terminal de contenedores.

4 La capacidad de una terminal de contenedores

4.1 Introducción

La capacidad de una terminal de contenedores depende de la caracterización del tráfico que va a atender y del nivel de servicio ofertado, aspectos que van a ser tratados a lo largo de este capítulo.

Diferentes autores han expresado que, a lo largo de la historia de las terminales de contenedores, se han cometido errores en el cálculo de la capacidad. En 1977, la UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) expuso que se habían cometido errores al predecir la productividad de las terminales de contenedores, siendo las capacidades reales de en torno a un 50 % inferiores a las calculadas teóricamente.

Durante los últimos años, los niveles de servicio de las principales terminales europeas han ido reduciéndose paulatinamente. Esto se debe al incremento de volumen de tráfico de contenedores por los picos estacionales y a la proliferación de las escalas fuera de horario.

4.2 Métodos de medición

Existen fundamentalmente tres métodos: los métodos empíricos, los métodos analíticos y los métodos de simulación.

Los métodos empíricos obtienen la capacidad de la terminal portuaria aplicando índices de productividad obtenidos mediante la comparación de otras instalaciones de tamaño y tipología similar con un nivel de servicio adecuado. Suelen utilizarse cuando no existen datos para aplicar métodos más exhaustivos.

Los métodos analíticos utilizan formulaciones matemáticas para describir los procesos de cada subsistema. Se utilizan con frecuencia en el subsistema de línea de atraque.

Para estimar la capacidad de una terminal por línea de atraque se necesita conocer los límites que las navieras pueden admitir en la relación tiempo de espera y de servicio (espera relativa) para una correcta productividad del buque. El subsistema de carga y descarga (también conocido como línea de atraque) se suele explotar como una única línea continua, por lo que podría entenderse como un grupo de puestos de atraques equivalentes que atienden a buques exactamente iguales.

Los métodos de simulación tienen como objetivo reproducir el comportamiento de las terminales de contenedores ante diferentes escenarios. Con este método, la terminal se divide en diversos subsistemas que pueden describirse matemáticamente y que luego se combinan para obtener un modelo completo y poder simular los distintos escenarios planteados. La principal ventaja de los métodos de simulación respecto a los analíticos es el nivel de detalle que consideran y el principal inconveniente es la gran cantidad de datos necesarios.

La desventaja que ofrece el método empírico es que su precisión es escasa, ya que dos terminales de tipología y tamaños parecidos no se comportan necesariamente igual en lo que a capacidad se refiere. El método de simulación es tremendamente preciso, pero la cantidad de datos necesaria hace que sea un método caro y reservado para casos específicos en los que la problemática deba estudiarse en detalle. En cambio, el procedimiento analítico puede aplicarse con diferentes grados de complejidad y se adapta fácilmente a las necesidades del analista. Por ello y por su idoneidad en la aplicación al subsistema de línea de atraque, es el método elegido para estudiar la capacidad de dicho subsistema en este trabajo.

4.3 Cálculo analítico de la capacidad

La capacidad de una terminal portuaria va a ser la menor de las capacidades de cada subsistema. Como se ha visto en el capítulo 3, existen cuatro subsistemas:

- **El subsistema de carga y descarga de buques o de línea de atraque.** Este subsistema es el encargado de resolver la interfaz marítima, con toda la infraestructura y equipamiento asociados a ella (ver punto 1 en Figura 32).
- **El subsistema de almacenamiento.** Generalmente es el subsistema que ocupa la mayor superficie de la terminal y su función es servir de depósito temporal de las mercancías. La disposición y extensión de este subsistema dependen de la tipología de la mercancía y de su forma de presentación, del tiempo de estancia, el volumen de tráfico, el equipamiento principal y de la lógica operacional (sentidos de circulación, alturas, zonificaciones (ver punto 2 en la Figura 32).
- **Subsistema de recepción y entrega.** Integrado por las puertas terrestres, el almacenamiento temporal y accesos para camión y ferrocarril, por las tuberías o cintas y por los espacios y equipos precisos para realizar la operación (ver punto 3 en la Figura 32).
- **Subsistema de interconexión.** Garantiza el transporte de las mercancías entre los subsistemas anteriores, por lo que no está ligado a un espacio físico en concreto. En función de la tipología de la terminal y del equipo del subsistema de almacenamiento, se empleará una determinada maquinaria para cada movimiento y para el transporte interno de la mercancía (ver punto 4 en la Figura 32).

En la Figura 32 se aprecian los citados subsistemas, tanto en una sección tipo como en planta.

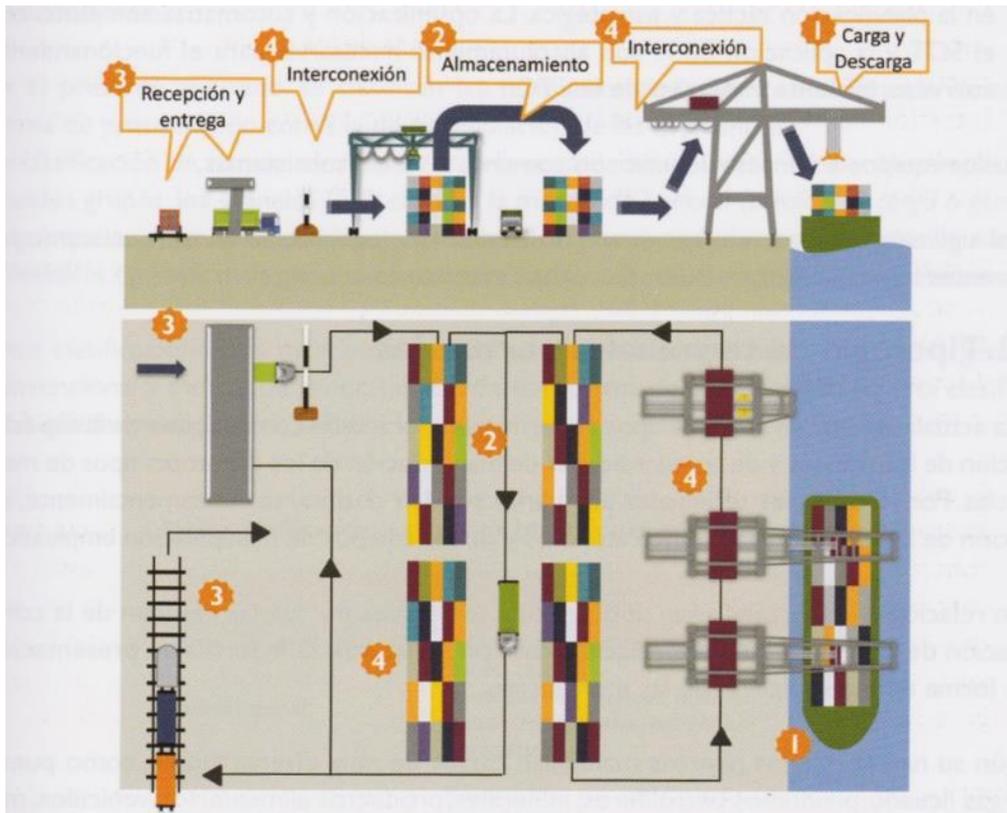


Figura 32. Subsistemas de una terminal de contenedores. Fuente: Monfort et al (2011).

Este análisis es simplificado, ya que cada subsistema se relaciona con el resto naturalmente, por lo que se necesita determinar algunas hipótesis para poder aislar cada subsistema para calcular su capacidad.

Se asume que los subsistemas de interconexión y de recepción y entrega no son limitantes de la capacidad, ya que estos se dotan del equipamiento suficiente como para no convertirse en cuellos de botella.

En el análisis de la capacidad del subsistema de carga y descarga se distinguen dos operativas: la de atraque (función del número de atraques y de la tasa de ocupación del muelle) y la de carga y descarga del buque (función del número de grúas y equipos de interconexión, así como de sus productividades). Para el análisis que se va a realizar, se asume que la terminal cuenta con el número de equipos necesarios para atender el tráfico y que la productividad está en valores aceptables. Por lo tanto, la capacidad de carga y descarga va intrínsecamente ligada a la capacidad de la línea de atraque a través de la productividad del buque atracado, que es lo que se va a estudiar.

El subsistema de almacenamiento regula los ritmos entre el transporte marítimo y el terrestre, siendo complejo el cálculo de su capacidad. Esta capacidad es función del espacio dedicado al almacenamiento, la altura operativa media de apilado y el tiempo de estancia de las mercancías.

Algunos autores (Kent y Ashar, 2010) desestiman el cálculo de la capacidad del subsistema de almacenamiento, argumentando que no es limitante para la capacidad global de la terminal porque el tiempo de estancia de las mercancías puede gestionarse con medidas tarifarias y de tipo logístico.

Por tanto, previo al desarrollo del trabajo, en el capítulo 4.4 se explicarán las metodologías actualmente utilizadas para calcular y analizar la capacidad por línea de atraque.

4.4 Capacidad por línea de atraque

Los principales aspectos a tener en cuenta al calcular la capacidad por línea de atraque de una terminal portuaria son:

- Previsiones de volúmenes de mercancías.
- Distribución estadística de llegadas de buques y sus características.
- Caracterización de las alineaciones de atraque.
- Distribución estadística del tiempo de servicio.
- Productividad de los equipos de muelle y cantidad de estos.
- Nivel de calidad del servicio asociado a la espera relativa. La espera relativa es el límite de tiempo de espera respecto al de servicio que las navieras pueden admitir (T_e/T_s).
- Tiempo operativo de la terminal al año.

4.4.1 Cálculo de la capacidad según Monfort et al (2012)

Según el “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores” de Monfort et al (2012), la capacidad anual de la línea de atraque se expresa de la siguiente forma:

$$C_{LA} = n \cdot \Phi \cdot t_{año} \cdot P$$

Donde:

- C_{LA} : capacidad anual de la línea de atraque en TEUs por año.
- n : número de puestos de atraque.
- Φ : tasa de ocupación admisible, función del número de puestos de atraque, calidad del servicio asociada a la espera relativa y de la caracterización de las llegadas y tiempos de servicios.
- $t_{año}$: horas operativas de la terminal al año. Función de los días que opera el puerto y de las condiciones laborales y meteorológicas.
- P : productividad anual media del buque atracado. Resulta del cociente entre el volumen anual de mercancías a manipular y la suma de los tiempos brutos anuales de atraque estimados. Función del número y prestaciones de los equipos, pericia de operarios y conexión con otros subsistemas.

El número de puestos de atraque es función de la longitud de la línea de atraque, la eslora del buque tipo y de los resguardos de seguridad ($K_{separación}$).

$$n = \frac{\text{longitud de línea de atraque}}{\text{eslora buque tipo} \cdot (100 \% + K_{\text{separación}})}$$

No existe acuerdo sobre cómo determinar la eslora de buque tipo, siendo común considerar buques extremales (buque cuya eslora es solo excedida por el 15 % de las llegadas), valores medios o en función de la tipología de buques previstos.

Para el cálculo del resguardo también existen varias teorías, como por ejemplo el 10 % de la eslora del buque tipo o un valor en función del esquema del muelle y la longitud de la eslora del barco, como propone la ROM 2.1 “Obras de Atraque y Amarre”.

Para la definición de la tasa de ocupación es necesario determinar las distribuciones de llegadas y de tiempo de servicio de los buques. Según Monfort et al (2012), los sistemas de distribuciones dependen de si las terminales de contenedores son públicas o con muy escalas programadas:

- Terminales públicas. Lo más común es utilizar una distribución de llegadas aleatorias (M) y una distribución Erlang (E) de orden 4 de los tiempos de servicio, es decir, una distribución $M/E_4/n$, siendo n el número de atraques.
- Terminales con escalas muy programadas. En este caso es mejor utilizar una distribución de llegadas aleatorias y una distribución Erlang de orden k para los tiempos de servicio y para las llegadas, es decir, una distribución $E_k/E_k/n$, siendo n el número de atraques y teniendo menor aleatoriedad la distribución de llegadas.

Según Thoresen (2003), T_e/T_s debe oscilar entre el 5 % y el 20 % en función del tipo de terminal. Según la ROM 2.1, para terminales de contenedores se recomienda un valor de 0,25.

En la Figura 33 se muestra el gráfico de correspondencia de las tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas $M/M/n$, $M/E_2/n$ y $M/E_4/n$ de 1 a 6 atraques y en la Figura 34 para los sistemas $E_2/E_2/n$ y $E_2/E_4/n$ de 1 a 6 atraques. Con estos gráficos se puede obtener la tasa de ocupación (una de las incógnitas de la fórmula de capacidad comentada anteriormente) en función de la espera relativa y el número de atraques. Para una misma espera relativa, la tasa de ocupación es mayor cuando el número de puestos de atraque aumenta. Asimismo, la tasa de ocupación es directamente proporcional a la espera relativa.

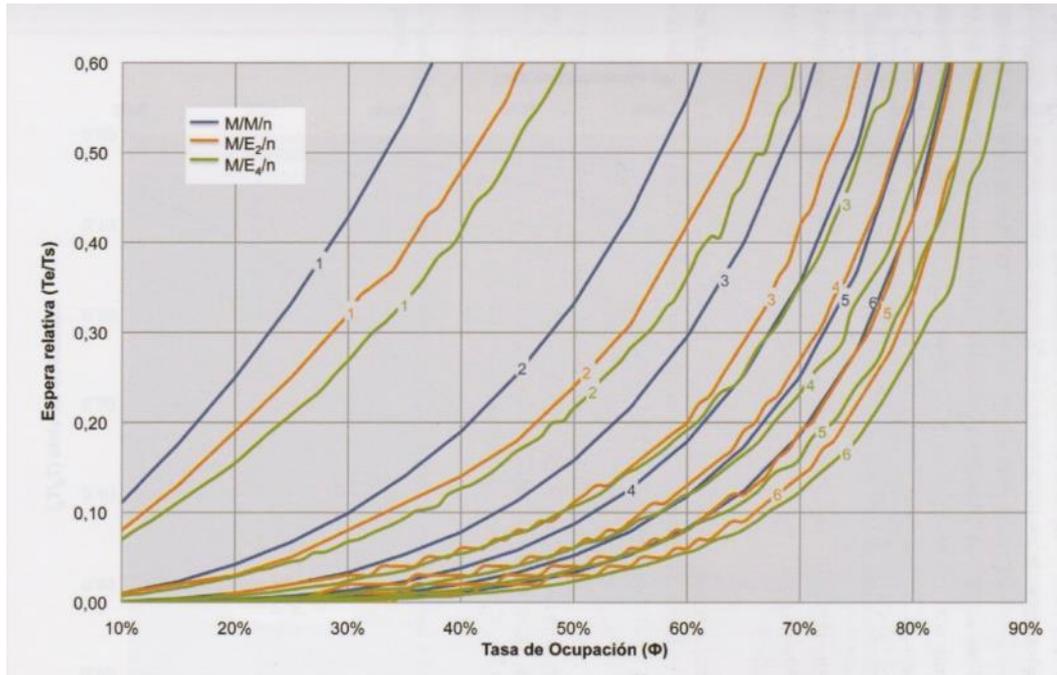


Figura 33. Correspondencia de las tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas $M/M/n$, $M/E_2/n$ y $M/E_4/n$. Fuente: Fundación Valenciaport.

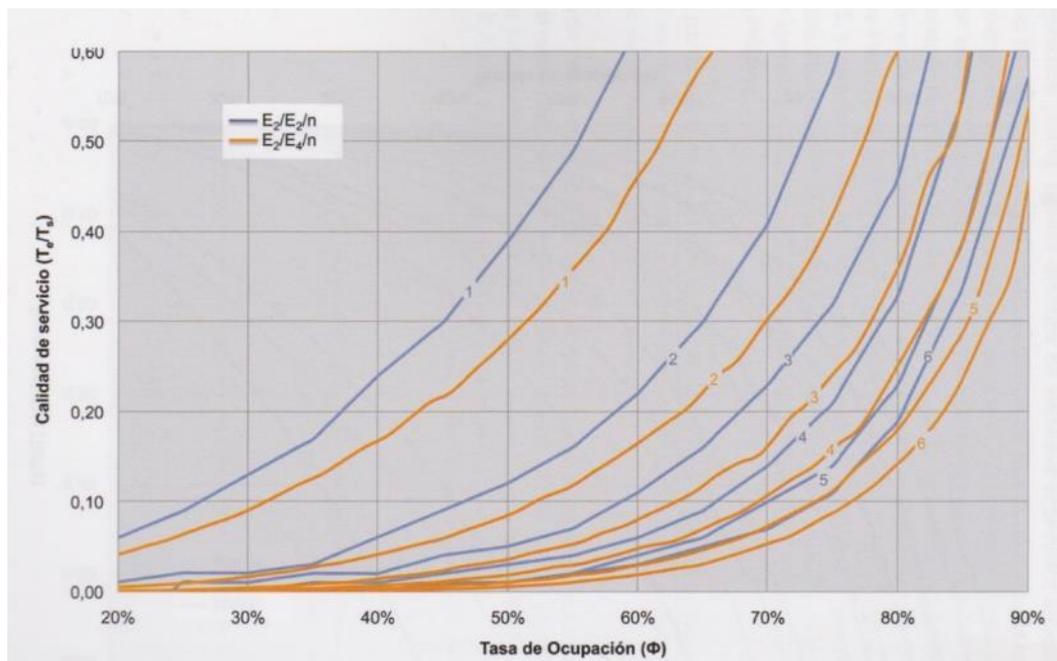


Figura 34. Correspondencia de las tasas de ocupación y la espera relativa de los sistemas $E_2/E_2/n$ y $E_2/E_4/n$. Fuente: Fundación Valenciaport.

4.4.2 Cálculo de la capacidad según Pery et al (2003)

En el modelo expuesto en “Determinación de la línea de atraque en los puertos españoles” de Pery et al (2003), existen dos tipos de parámetros que intervienen en el cálculo del número de atraques necesarios: los parámetros fijos y los parámetros variables.

Se considera parámetro fijo aquel que es invariable a lo largo de un año (un dato numérico determinado), a saber:

- Número de horas-jornada.
- Coeficiente de ocupación de los atraques.

Los parámetros variables se obtienen a partir de los fijos de cada año. Existen dos parámetros variables:

- Horas trabajadas al año en función del número de turnos que se establezcan. Se pueden considerar una, dos o tres jornadas laborables, siendo 1.700, 3.400 o 5.100 horas de trabajo respectivamente.
- Rendimiento de las instalaciones y de la maquinaria en TEU por hora.

Según Pery et al (2003), la expresión del rendimiento se expresa como:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tráfico}}{(H. \text{trabajadas})}$$

Siendo:

$$H. \text{trabajadas} = \text{Coeficiente de ocupación} \cdot H. \text{laborables} \cdot \text{Atraques disponibles}$$

El significado de cada término se detalla a continuación:

- Tráfico. Tráfico esperado en TEUs.
- Coeficiente de ocupación. Se toma 0,6 porque, según Pery et al (2003), la congestión se alcanza cuando la demanda supera el 60 % de la oferta.
- H. laborables. Son las horas de trabajo citadas previamente, en función de las jornadas laborables establecidas.
- Atraques disponibles. Número de atraques disponibles en la terminal.

Esta formulación ofrece resultados en movimientos/hora, un resultado que no es el que se busca para este trabajo. Es una formulación útil para la obtención del rendimiento de la terminal, pero no para la capacidad. Además, para la correcta obtención del rendimiento se necesita el dato de horas efectivas trabajadas al año para los movimientos realizados.

4.4.3 Cálculo de la capacidad según Jason Bryan Salminem (2013)

Según el autor, debe diferenciarse entre capacidad estática y capacidad dinámica. La capacidad estática se define como la disponibilidad de espacio en tierra en un momento determinado. En cambio, la capacidad dinámica es función de la tecnología de los equipos y la habilidad del personal durante un tiempo determinado.

Antes de comenzar a desarrollar la formulación, se deben aclarar varios aspectos:

- Se debe diferenciar entre capacidad teórica y capacidad real, las cuales no siempre coinciden.

- La formulación se divide por zonas de la terminal: línea de atraque y terminal-almacenamiento.

Las fórmulas para el cálculo de la capacidad del equipo de la terminal son:

$$DT_{CE} = n_{CE} \cdot d_{CE} \cdot (o_{CE} - m_{CE}) \cdot h_{CE}$$

$$DA_{CE} = n_{CE} \cdot p_{CE} \cdot (o_{CE} - m_{CE}) \cdot (1 - r_{CE}) \cdot h_{CE}$$

- DT_{CE} : capacidad dinámica teórica del equipo.
- DA_{CE} : capacidad dinámica real del equipo.
- d_{CE} : número de movimientos por hora.
- h_{CE} : horas diarias de operación.
- m_{CE} : media anual de días inactivos del equipo.
- n_{CE} : número de equipos de operación de contenedores (RTGs, grúas...).
- o_{CE} : días de operación al año.
- p_{CE} : número de movimientos por hora.
- r_{CE} : reducción por mantenimiento del equipo.

En contraposición con la formulación de Monfort et al (2012), Salminem no emplea ningún factor reductor por tasa de ocupación, pero sí uno de reducción por mantenimiento del equipo. Aun así, para la formulación de Monfort et al (2012), ese factor reductor por mantenimiento ya va implícito en el término de productividad.

4.5 Elección de la formulación base

Este trabajo se centra en el estudio de la formulación de capacidad de la línea de atraque. Es la zona donde más factores intervienen (del lado mar y del lado tierra) y donde se produce el colapso en la mayoría de ocasiones. Por ello, en esta primera aproximación a la capacidad diaria, se va a realizar el estudio tomando como base la formulación de la capacidad de la línea de atraque.

Entre las tres fórmulas propuestas, se ha elegido la de Monfort et al (2012) para desarrollar a partir de ella la formulación diaria por las siguientes razones:

- Es la fórmula más adaptada al caso de los puertos españoles.
- La fórmula de Pery et al (2003) es más una formulación encaminada a obtener el rendimiento operacional de la línea de atraque que la capacidad de esta. Sí es una fórmula útil en aquellos casos donde se quiera conocer de forma más detallada el rendimiento de la línea de atraque en movs/hora, pero no como formulación básica para desarrollar la capacidad diaria. Además, para que dicha formulación sea útil, se necesitan saber las horas anuales realmente trabajadas para el tráfico movido, dato difícil de obtener.
- Por último, la formulación de Salminem (2013) ofrece valores muy por encima de los resultados que ofrece la formulación de Monfort et al (2012), ya que la primera no tiene en cuenta ningún factor reductor por la máxima ocupación admisible en el

puerto. En la Tabla 3 se muestra una comparativa entre los resultados que ofrece la formulación de capacidad de Monfort et al (2012) y Salminem (2013). Si en este trabajo se especifica que la formulación utilizada actualmente para la obtención de la capacidad de una terminal no es adecuada ya que la capacidad real actual está por debajo de la teórica, no se antoja adecuado utilizar una formulación que arroja valores en torno al 50 % superiores a la formulación de Monfort et al (2012).

	Cartagena	Barcelona	Valencia
Capacidad según Monfort et al (2012)	267.300	4.283.775	5.782.222
Capacidad según Salminem (2013)	486.000	6.025.290	8.178.545

Tabla 3. Comparativa de capacidades de las terminales de Cartagena, Barcelona y Valencia con las formulaciones de Monfort y Salminem.

Una vez elegida la formulación de Monfort et al (2012) como formulación base, en el siguiente capítulo se procede a explicar la medida propuesta en este trabajo: la obtención de la capacidad diaria.

5 Medida propuesta para solucionar el problema de capacidad: estudio de la capacidad diaria vs la capacidad anual

Se ha descrito anteriormente el cálculo de la capacidad de una terminal de contenedores desde un punto de vista anual (ver capítulo 4). En cambio, el estudio de la capacidad desde un punto de vista diario puede ser la alternativa más efectiva para el dimensionamiento y operación de una terminal portuaria de contenedores.

Este estudio diario puede asemejarse al estudio de la Intensidad Media Diaria de carreteras (IMD) que se emplea en el dimensionamiento de las carreteras españolas. Por ello, se plantea la elaboración de una formulación de capacidad diaria de las terminales de contenedores basada en la idea de la IMD, pero con tres factores que afectan a dicha formulación:

- Un factor de variabilidad. Expresa la variabilidad temporal del tráfico de contenedores a lo largo del año.
- Un factor por crecimiento de China. Expresa la afección del crecimiento de China a la capacidad de las terminales de contenedores.
- Un factor por tamaño de buques. Interviene en la formulación para tener en cuenta el aprovechamiento de la economía de escala por parte de los buques portacontenedores y las terminales y las desventajas que generan los buques extremos en las operaciones realizadas en la línea de atraque.

5.1 Semejanzas con la IMD de carreteras

Las carreteras españolas se dimensionan teniendo en cuenta la Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos que van a atravesar el tramo de carretera en estudio. La IMD es el número total de vehículos que atraviesan una determinada sección durante un año dividido por 365.

La intensidad de tráfico varía temporal y espacialmente según los tres siguientes ciclos:

- Ciclo anual. Generalmente, las intensidades son mayores en verano y menores en invierno. Este aumento veraniego es mayor en zonas turísticas y menor en zonas industriales. Por el contrario, en las grandes ciudades la intensidad es prácticamente constante, excepto en agosto, cuando se produce una disminución del tráfico (Figura 35).
- Ciclo semanal. Durante los días laborables la intensidad es mucho mayor que en festivos (Figura 36).
- Ciclo diario. Por la noche se miden intensidades muy bajas, creciendo rápidamente entre las 8 y las 9 de la mañana. A partir de esa hora, la evolución depende del tipo de vía y su emplazamiento, aunque los máximos suelen encontrarse por las mañanas (Figura 37).

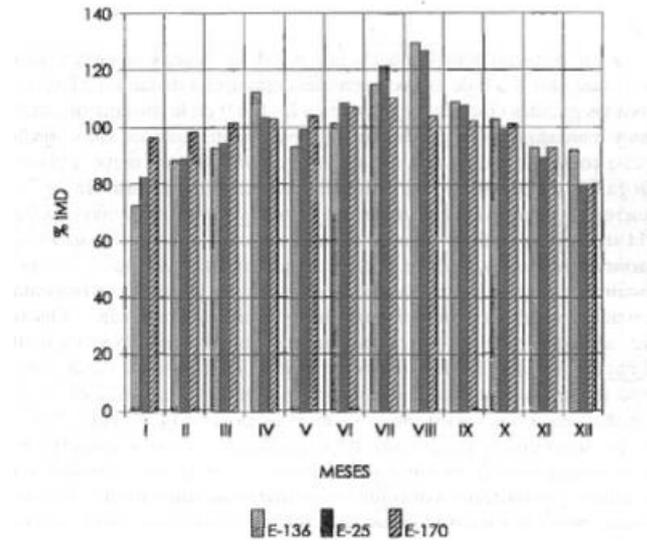


Figura 35. Variación mensual de la IMD en tres carreteras distintas. Fuente: Kraemer et al (2003).

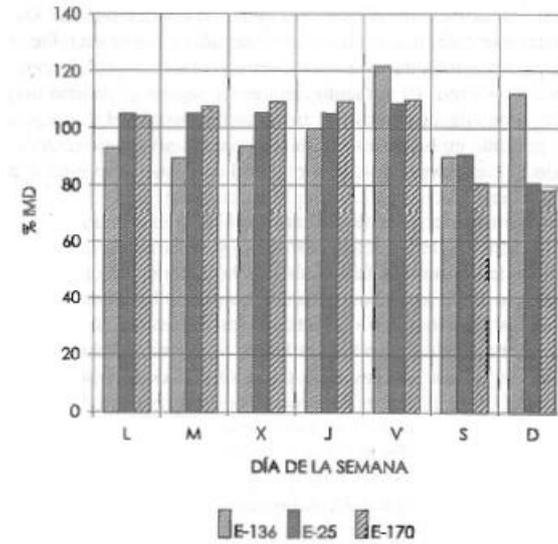


Figura 36. Variación semanal de la IMD en tres carreteras distintas. Fuente: Kraemer et al (2003).

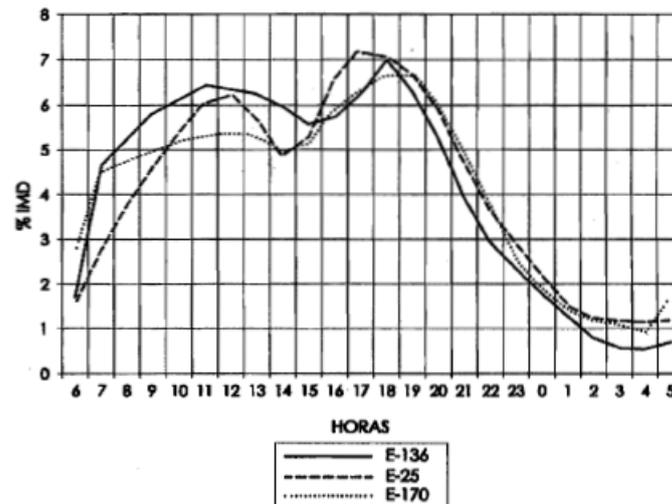


Figura 37. Variación diaria de la IMD en tres carreteras distintas. Fuente: Kraemer et al (2003).

A causa de esta variabilidad, para determinar las características de la vía necesarias para hacer frente a la demanda no basta con utilizar el valor medio de la intensidad horaria durante un periodo largo.

También se puede medir la intensidad durante periodos de tiempo menores a una hora y estudiar las variaciones a corto plazo. En vías de gran intensidad de tráfico se debe tener en cuenta esa fluctuación para evitar su saturación.

Para tener en cuenta dichas fluctuaciones, se divide la intensidad horaria durante esas puntas de tráfico por un factor conocido como factor punta. El caso más común es la medición de intensidades de 15 minutos. Si I_{15} es el número de vehículos que pasan durante los 15 minutos de mayor circulación e I_{60} la intensidad horaria durante toda la hora punta, el factor de hora punta será:

$$f = \frac{I_{60}}{4 \cdot I_{15}}$$

En carreteras interurbanas, es frecuente escoger como representativa de la demanda la intensidad horaria que solo se excede durante 30 horas al año, llamada intensidad en la hora 30.

5.2 El factor de variabilidad en las terminales de contenedores

En la explotación de las terminales portuarias de contenedores también existe una variabilidad en la cantidad de contenedores que llegan al puerto (Figura 38). En el cálculo de la capacidad anual vista en el capítulo 4 no se tiene en cuenta dicha variabilidad, por lo que el cálculo de la capacidad con esa metodología no queda del lado de la seguridad.

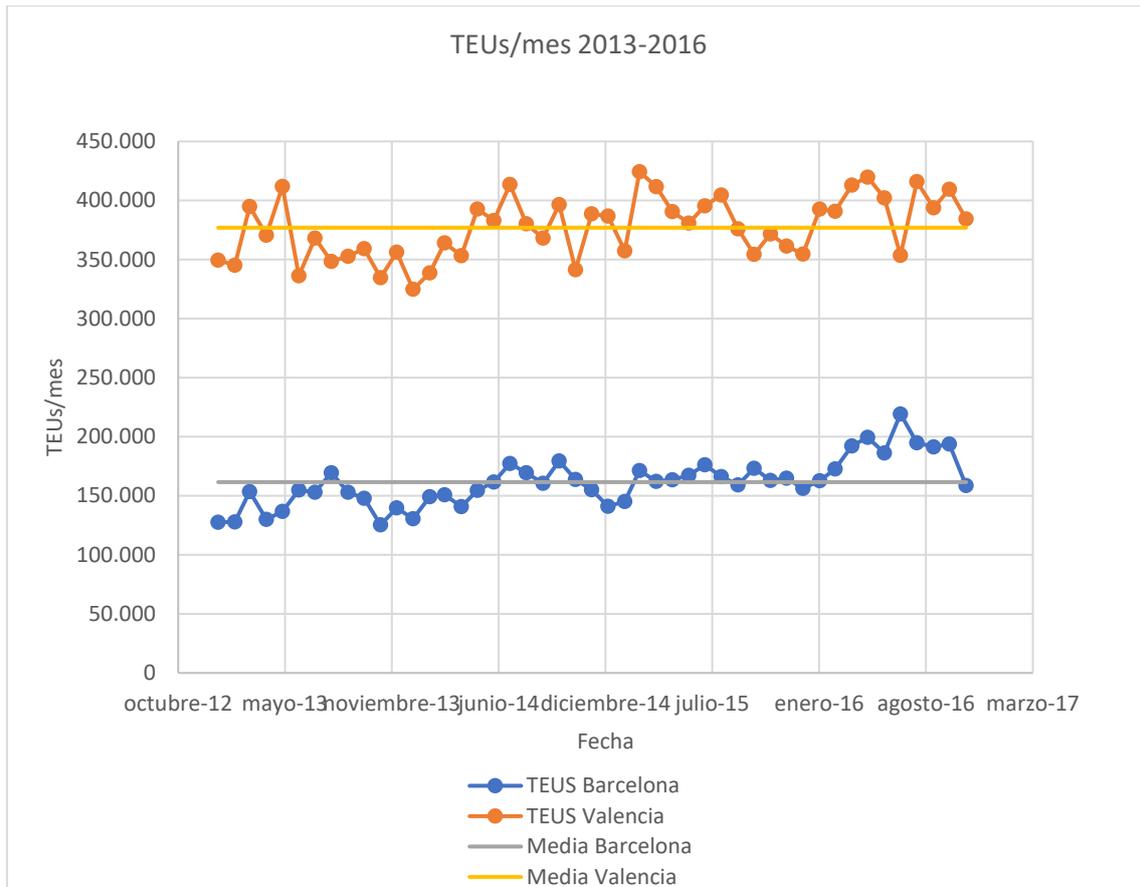


Figura 38. Comparativa de movimientos mensuales en las terminales de Barcelona y Valencia entre 2013 y 2016. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Puertos del Estado.

Para introducir dicha variabilidad en el cálculo de la capacidad, se propone la introducción de un factor de variabilidad semejante al expuesto para el caso de las carreteras. Este factor se expresa como:

$$f_{var} = 1 - dif$$

Siendo:

- f_{var} : factor corrector de la capacidad debido a la variabilidad del tráfico de contenedores.
- dif: coeficiente que representa la variabilidad del tráfico mensual. Se expresa de la siguiente forma:

$$dif = \frac{Media\ mensual\ var\ pos - Media\ mensual}{Media\ mensual}$$

Siendo:

- Media mensual: media de movimientos mensuales obtenida con los datos de movimientos de contenedores totales durante un año. Se expresa de la siguiente forma:

$$Media\ mensual = \frac{Movs\ anual}{12}$$

- Media mensual var pos: Media mensual de periodos con variabilidad positiva. Es la media de movimientos mensuales obtenida teniendo en cuenta solo los meses con más movimientos que la media mensual, expresada:

$$\text{Media mensual var pos} = \frac{\text{Movs meses var pos}}{N}$$

Siendo:

- Movs meses var pos: movimientos durante los meses de variabilidad positiva. Son los movimientos totales durante los meses con más movimientos que la media mensual obtenida anteriormente.

El factor de variabilidad va ligado a la transformación de la formulación de capacidad anual de la terminal de contenedores a una formulación diaria. Por lo tanto, el factor de variabilidad se introduce en la fórmula de capacidad diaria para tener en cuenta la variabilidad esperada del tráfico de contenedores.

Dicha formulación diaria se expresa de la siguiente forma:

$$C_{dLA} = f_{var} \cdot n \cdot \Phi \cdot t_{día} \cdot P$$

Donde:

- C_{dLA} : capacidad diaria de la línea de atraque en TEUs por año.
- n : número de puestos de atraque.
- Φ : tasa de ocupación admisible, función del número de puestos de atraque, calidad del servicio asociada a la espera relativa y de la caracterización de las llegadas y tiempos de servicios.
- $t_{día}$: horas operativas de la terminal al día. Función de las horas que opera el puerto y de las condiciones laborales y meteorológicas.
- P : productividad media del buque atracado. Función del número y prestaciones de los equipos, pericia de operarios y conexión con otros subsistemas. Expresada en movimientos por hora.

El número de puestos de atraque es función de la longitud de la línea de atraque, la eslora del buque tipo y de los resguardos de seguridad ($K_{separación}$).

$$n = \frac{\text{longitud de línea de atraque}}{\text{eslora buque tipo} \cdot (100\% + K_{separación})}$$

Para la determinación de la eslora del buque tipo, el resguardo de seguridad y la tasa de ocupación se siguen los mismos procedimientos que aquellos mostrados para la obtención de la capacidad anual (apartado 4.3).

Este factor de variabilidad está resuelto con movimientos mensuales y no diarios porque son los datos que están a disposición en las páginas web de las autoridades portuarias. Sería ideal comparar este factor de variabilidad con otro factor obtenido a partir de datos diarios. Desechando el día con mayor movimiento del año, correspondiente a las 24 horas con mayor

tráfico (tal y como se hace con la intensidad de la hora 30 en carreteras), se podría comparar el dato diario de cálculo con la media diaria obtenida con los datos totales anuales divididos por 365. De esta forma, se lograría un factor similar al obtenido con los datos mensuales.

5.3 La importancia de China y el crecimiento de los buques

Como se ha visto en el apartado 2.2, el crecimiento de China y el aumento del tamaño de los buques son los problemas principales causantes del colapso de las terminales de contenedores.

Por ello, en este trabajo también se han elaborado dos factores que representan el crecimiento del tráfico de contenedores debido al aumento de producción de China y el colapso de las terminales debido a los grandes buques.

5.3.1 Factor de crecimiento de China

El factor de crecimiento de China es un factor que afecta negativamente a la capacidad de un puerto cuanto mayor es el crecimiento interanual del PIB de dicho país. Dicho factor se formula de la siguiente manera:

$$f_{China} = 1 - \frac{PIB_{China}}{100}$$

Siendo:

- f_{China} : factor corrector de la capacidad debido al aumento desmesurado del tráfico de contenedores por el crecimiento de China.
- PIB_{China} : crecimiento interanual del Producto Interior Bruto de China en tanto por ciento.

Por lo tanto, a mayor crecimiento de China, menor capacidad del puerto y más equipos o mayor longitud de atraque necesaria para mantener la capacidad prevista. La fórmula de capacidad diaria con dicho factor se expresaría así:

$$C_{dChina} = f_{China} \cdot n \cdot \Phi \cdot t_{día} \cdot P$$

5.3.2 Factor de crecimiento de los buques portacontenedores.

El crecimiento de los buques portacontenedores tiene un aspecto positivo y otro negativo:

- El aspecto positivo es que cuanto mayor es el buque, mejor se aprovecha la economía de escala, ya que más grúas, personal y equipo se puede emplear en la descarga de contenedores.
- El aspecto negativo afecta solo a los megabuques que se han construido en los últimos años. Las actuales terminales de contenedores europeas no están preparadas para absorber la ingente cantidad de movimientos que esos buques provocan.

Por lo tanto, existe una delgada línea entre el aprovechamiento positivo de la economía de escala y el colapso por los megabuques. En este trabajo se ha determinado que dicha frontera se encuentra en los buques con capacidad para 12.000 contenedores.

Se ha situado la frontera en los buques con capacidad para 12.000 contenedores porque son los buques que se construían hasta la década de los 2000 (Figura 30). A efectos de capacidad, se ha considerado que los buques con capacidad por encima de 12.000 contenedores son potencialmente perjudiciales.

Por lo tanto, se han elaborado dos factores que afectan a la capacidad diaria de la terminal de contenedores: el factor de crecimiento del tamaño del buque medio de la flota de portacontenedores y el factor de crecimiento del tamaño del buque más grande que realiza las rutas más importantes.

5.3.2.1 *Factor de crecimiento de la capacidad del buque medio de la flota de portacontenedores*

Este factor estudia el crecimiento interanual de la capacidad del buque medio de la flota mundial de buques portacontenedores. Si el crecimiento de un año a otro es positivo y el tamaño medio (en términos de capacidad en TEUs) de los buques portacontenedores de la flota mundial se encuentra por debajo de los 12.000 contenedores, el factor afecta positivamente a la capacidad.

Es decir, cuanto mayor es la capacidad en TEUs del buque medio de la flota mundial, mayor será la capacidad de las terminales portuarias ya que mayor productividad podrán alcanzar, siempre y cuando ese tamaño se encuentre por debajo de los 12.000 TEUs.

El factor de crecimiento del tamaño del buque medio se expresa así:

$$f_{\text{buque med}} = 1 + \frac{\text{Crec buque medio}}{100}$$

Siendo:

- $f_{\text{buque med}}$: factor corrector de la capacidad debido al crecimiento de la capacidad del buque medio de la flota mundial de portacontenedores.
- Crec buque medio: crecimiento interanual de la capacidad en TEUs de la flota de portacontenedores mundial en tanto por ciento. Este crecimiento se tomará igual a 0 si el tamaño medio del buque supera los 12.000 TEUs.

Por lo tanto, cuanto mayor es el crecimiento del buque medio, mayor es la capacidad de la terminal.

5.3.2.2 *Factor de crecimiento de la capacidad del mayor buque que opera en las principales rutas de contenedores*

Este factor estudia el crecimiento interanual de la capacidad del mayor buque que haya operado durante el año las principales rutas de contenedores del mundo. Si el crecimiento de un año a otro es positivo y el tamaño (en términos de capacidad en TEUs) del mayor buque

que opera en dichas rutas se encuentra por encima de los 12.000 contenedores, el factor afecta negativamente a la capacidad.

Es decir, cuanto mayor es la capacidad en TEUs del mayor buque, menor será la capacidad de las terminales portuarias ya que mayor colapso producirá, siempre y cuando ese tamaño se encuentre por encima de los 12.000 TEUs.

El factor de crecimiento del tamaño del buque máximo se expresa así:

$$f_{\text{buque máx}} = 1 - \frac{\text{Crec buque máx}}{100}$$

Siendo:

- $f_{\text{buque máx}}$: factor corrector de la capacidad debido al crecimiento de la capacidad del buque más grande que opera en las principales rutas de contenedores. Según UNCTAD (2015), las principales rutas comerciales de contenedores del mundo son las mostradas en la Tabla 4.

Rutas
China - República de Korea
China - Singapur
Alemania - Países Bajos
Países Bajos - Reino Unido
China - Estados Unidos
Malasia - Singapur

Tabla 4. Principales rutas de contenedores del mundo según UNCTAD (2015).

- Crec buque máx : crecimiento interanual de la capacidad en TEUs del tamaño medio de los mayores buques que hayan operado las rutas en cuestión. Este crecimiento se tomará igual a 0 si el tamaño medio del buque máximo está por debajo de los 12.000 TEUs.

Por lo tanto, cuanto mayor es el crecimiento del buque máximo, menor es la capacidad de la terminal.

Una vez expuestos los factores modificadores de la capacidad, la formulación quedaría:

$$C_{d\text{Buques}} = f_{\text{buque med}} \cdot f_{\text{buque máx}} \cdot n \cdot \phi \cdot t_{\text{día}} \cdot P$$

6 Resultados

Tras exponer la formulación de Monfort et al (2012) y la formulación propuesta en este trabajo, en este capítulo se estudian ambas formulaciones para tres terminales de contenedores distintas: Cartagena, Barcelona y Valencia.

6.1 Terminal de contenedores de Cartagena

El Puerto de Cartagena está situado en el sureste español, más concretamente en la Región de Murcia (Figura 39). Dispone de una terminal de contenedores, la Terminal de Santa Lucía (Figura 40).



Figura 39. Localización del Puerto de Cartagena. Fuente: Guía de Servicios del Puerto de Cartagena.



Figura 40. Localización de la Terminal de Santa Lucía. Fuente: Google Earth (2016).

Sus características son las mostradas en la Tabla 5.

Cartagena - Santa Lucía	
Longitud línea atraque (m)	385
Tiempo operativo al año (horas)	8640
Tiempo operativo al día (horas)	24
Escalas en 2015	286
Contenedores movidos en 2015 (TEU)	91.726
Movimientos/escala	320,72
Productividad media buque atracado (mov/hora)	22,5

Tabla 5. Características de la terminal de contenedores de Santa Lucía. Fuente: Memoria anual 2015 (Autoridad Portuaria de Cartagena).

La productividad media del buque se ha obtenido en función de los movimientos por escala de la terminal durante el año 2015 y utilizando los valores propuestos por Monfort et al (2012) para un nivel de servicio aceptable (Tabla 6).

Indicador	Subdivisión	Nivel de servicio		
		Óptimo	Aceptable	Inaceptable
Productividad neta de buque atracado (mov/hora)	>1.000 mov/escala	>80	60-80	<60
	500 - 1.000 mov/escala	>50	35-50	<35
	<500 mov/escala	>25	20-25	<20

Tabla 6. Recomendaciones sobre productividad y niveles de servicio. Fuente: Monfort et al (2012).

6.1.1 Capacidad anual según Monfort et al (2012)

Con los datos obtenidos anteriormente y la formulación de capacidad anual expuesta en el apartado 4.4.1, los datos sobre capacidad anual de la terminal de contenedores de Santa Lucía se exponen en la Tabla 7. También se muestra la capacidad diaria teórica obtenida con el dato de capacidad anual dividido por 360, que son los días operativos considerados para el cálculo de la capacidad anual.

Número puestos atraque	2,50
Tasa ocupación admisible (%)	55%
Capacidad anual (TEU/año)	267.300
Capacidad diaria teórica (TEU/día)	743

Tabla 7. Capacidad anual y diaria teórica de la terminal de Santa Lucía.

6.1.2 Capacidad diaria con factor de variabilidad

En la Tabla 8 se muestran los datos necesarios para el cálculo de la capacidad diaria afectada por el factor de variabilidad expuesto en el apartado 5.2 y en la Tabla 9 se expone la capacidad diaria para la terminal de Santa Lucía.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Movimientos mensuales (TEUs)	6.531	6.442	9.581	6.669	7.584	7.821	8.389	8.696	8.299	7.067	8.265	6.692
Media mensual (TEUs)	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670
Variabilidad	-15%	-16%	25%	-13%	-1%	2%	9%	13%	8%	-8%	8%	-13%

Tabla 8. Movimientos mensuales y variabilidad respecto a la media en la terminal de Santa Lucía.

Fuente: Puertos del Estado.

Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	8.509
Diferencia en % respecto a la media de los 12 meses (coeficiente dif)	10,94%
Factor f_{var}	0,891
Capacidad diaria (TEU/día)	661

Tabla 9. Factor de variabilidad y capacidad diaria para la terminal de contenedores de Santa Lucía.

6.1.3 Capacidad diaria con factor de crecimiento de China

En la Tabla 10 se exponen los datos necesarios para el cálculo de la capacidad diaria de la terminal de Santa Lucía con el factor de crecimiento de China visto en el apartado 5.3.1, así como el resultado de dicho cálculo.

Crecimiento interanual PIB China	6,7 %
Factor f_{China}	0,933
Capacidad diaria (TEU/día)	693

Tabla 10. Factor de crecimiento de China y capacidad diaria para la terminal de contenedores de Santa Lucía.

6.1.4 Capacidad diaria con factor de crecimiento de los buques portacontenedores

En la Tabla 11 se exponen los datos de tráfico obtenidos sobre las principales rutas de contenedores durante los años 2015 y 2014, necesarios para obtener el factor de tamaño máximo de buque expuesto en el apartado 5.3.2.2. Dicho factor, además del factor de tamaño medio de buque y los datos necesarios para obtenerlo, se muestran en la Tabla 12, así como el resultado del cálculo de la capacidad para el Puerto de Cartagena.

Rutas	Mayor buque 2015 (TEU)	Mayor buque 2014 (TEU)
China - República de Korea	19.224	19.224
China - Singapur	19.224	15.908
Alemania - Países Bajos	19.224	19.224
Países Bajos - Reino Unido	19.224	19.224
China - Estados Unidos	14.036	13.360
Malasia - Singapur	19.224	15.908
Media	18.359	17.141

Tabla 11. Principales rutas de contenedores del mundo, mayor buque que ha operado en ellas durante los años 2015 y 2014 y capacidad media de dichos buques. Fuente: UNCTAD 2015 y 2016.

Número de portacontenedores 2015	5.230
Capacidad total portacontenedores 2015 (TEU)	19.735.473
Número de portacontenedores 2014	5.111
Capacidad total portacontenedores 2014 (TEU)	18.253.285
Tamaño medio portacontenedor 2015 (TEU)	3774
Tamaño medio portacontenedor 2014 (TEU)	3571
Crecimiento interanual tamaño medio buque (%)	5,66
Crecimiento interanual tamaño máximo buque (%)	7,11
Factor $f_{\text{buque med}}$	1,06
Factor $f_{\text{buque máx}}$	0,93
Capacidad diaria (TEU/día)	729

Tabla 12. Datos necesarios para el cálculo de la capacidad diaria con el factor del crecimiento de buques y resultado en TEU/día para el Puerto de Cartagena.

6.1.5 Resumen de resultados para la terminal de Cartagena – Santa Lucía

En la Tabla 13 se ofrece un resumen de resultados comparativo entre la capacidad teórica obtenida con el cálculo de la capacidad anual dividida entre 360 días (días operativos) y las capacidades diarias obtenidas con los distintos factores mencionados anteriormente. En la Figura 41 se puede observar dicha diferencia en forma de gráfico.

Capacidad diaria teórica (TEU/día)	743
Capacidad diaria total factor var (TEU/día)	661
Diferencia factor var - diaria total	-10,94%
Capacidad diaria factor China (TEU/día)	693
Diferencia factor China - diaria total	-6,70%
Capacidad diaria factor buque (TEU/día)	729
Diferencia factor buques - diaria total	-1,85%

Tabla 13. Resumen de resultados de capacidad diaria (Puerto de Cartagena).

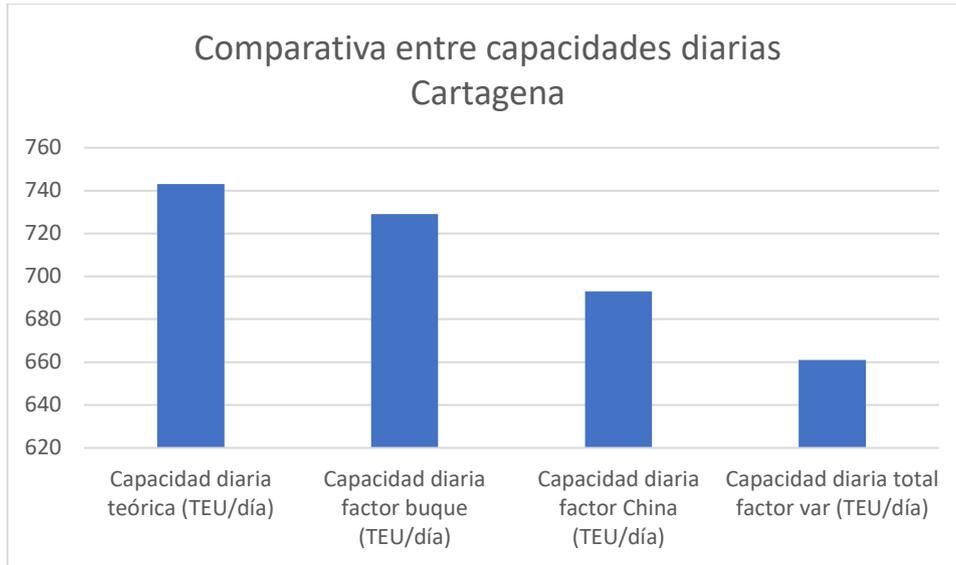


Figura 41. Comparativa entre capacidades diarias (Puerto de Cartagena).

6.2 Terminal de contenedores de Barcelona

El Puerto de Barcelona está situado en el noreste español, más concretamente en Cataluña (Figura 42). Dispone de dos terminales de contenedores, la Terminal de BEST y la terminal TCB (Figura 43).



Figura 42. Localización del Puerto de Barcelona. Fuente: Memoria anual del Puerto de Barcelona (2015).



Figura 43. Localización de las terminales BEST (rojo) y TCB (negro). Fuente: www.portdebarcelona.cat.

Sus características son las mostradas en la Tabla 14.

	TCB	BEST
Longitud línea atraque (m)	1515	970
Tiempo operativo al año (horas)	8640	
Tiempo operativo al día (horas)	24	
Escalas en 2015	2144	
Contenedores movidos en 2015 (TEU)	1.965.240	
Movimientos/escala	916,62	
Productividad media buque atracado (mov/hora)	71	71

Tabla 14. Características de las terminales de contenedores de Barcelona. Fuente: Memoria anual 2015 (Port de Barcelona), Anuario estadístico 2015 (Port de Barcelona) y JOC Group (2014).

6.2.1 Capacidad anual según Monfort et al (2012)

Con los datos obtenidos anteriormente y la formulación de capacidad anual expuesta en el apartado 4.4.1, los datos sobre capacidad anual de las terminales de contenedores de Barcelona se exponen en la Tabla 15. También se muestra la capacidad diaria teórica obtenida con el dato de capacidad anual dividido por 360, que son los días operativos considerados para el cálculo de la capacidad anual.

	TCB	BEST
Número puestos atraque	5,99	3,83
Tasa ocupación admisible (%)	75	65
Capacidad anual (TEU/año)	2.755.025	1.528.751
Capacidad diaria teórica (TEU/día)	7.653	4.247
Capacidad diaria teórica total(TEU/día)	11.899	

Tabla 15. Capacidad anual y diaria teórica de las terminales de Barcelona.

6.2.2 Capacidad diaria con factor de variabilidad

En la Tabla 16 se muestran los datos necesarios para el cálculo de la capacidad diaria afectada por el factor de variabilidad expuesto en el apartado 5.2 y en la Tabla 17 se expone la capacidad diaria para las terminales de Barcelona.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Movimientos mensuales (TEUs)	141.048	145.162	171.271	162.244	163.492	167.408	176.154	166.239	159.135	173.263	162.887	164.983
Media mensual (TEUs)	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774
Variabilidad	-13%	-11%	5%	0%	0%	3%	8%	2%	-2%	6%	0%	1%

Tabla 16. Movimientos mensuales y variabilidad respecto a la media en las terminales de Barcelona.

Fuente: Puertos del Estado.

Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	168.212
Diferencia en % respecto a la media de los 12 meses (coeficiente dif)	3,34%
Factor f_{var}	0,967
Capacidad diaria (TEU/día)	11.502

Tabla 17. Factor de variabilidad y capacidad diaria para las terminales de contenedores de Barcelona.

6.2.3 Capacidad diaria con factor de crecimiento de China

En la Tabla 18 se exponen los datos necesarios para el cálculo de la capacidad diaria de las terminales de Barcelona con el factor de crecimiento de China visto en el apartado 5.3.1, así como el resultado de dicho cálculo.

Crecimiento interanual PIB China	6,7 %
Factor f_{China}	0,933
Capacidad diaria (TEU/día)	11.102

Tabla 18. Factor de crecimiento de China y capacidad diaria para las terminales de contenedores de Barcelona.

6.2.4 Capacidad diaria con factor de crecimiento de los buques portacontenedores

En la Tabla 19 se muestra el factor de crecimiento del tamaño del buque máximo, además del factor de tamaño medio de buque, así como el resultado del cálculo de la capacidad para el Puerto de Barcelona.

Factor $f_{buque\ med}$	1,06
Factor $f_{buque\ máx}$	0,93
Capacidad diaria (TEU/día)	11.680

Tabla 19. Factores de crecimiento de los buques y resultado en TEU/día para el Puerto de Barcelona.

6.2.5 Resumen de resultados para las terminales de Barcelona

En la Tabla 20 se ofrece un resumen de resultados comparativo entre la capacidad teórica obtenida con el cálculo de la capacidad anual dividida entre 360 días (días operativos) y las

capacidades diarias obtenidas con los distintos factores mencionados anteriormente para el caso del Puerto de Barcelona. En la Figura 44 se puede observar dicha diferencia en forma de gráfico.

Capacidad diaria teórica (TEU/día)	11.899
Capacidad diaria total factor var (TEU/día)	11.502
Diferencia factor var - diaria total	-3,34%
Capacidad diaria factor China (TEU/día)	11.102
Diferencia factor China - diaria total	-6,70%
Capacidad diaria factor buque (TEU/día)	11.680
Diferencia factor buques - diaria total	-1,85%

Tabla 20. Resumen de resultados de capacidad diaria (Puerto de Barcelona).

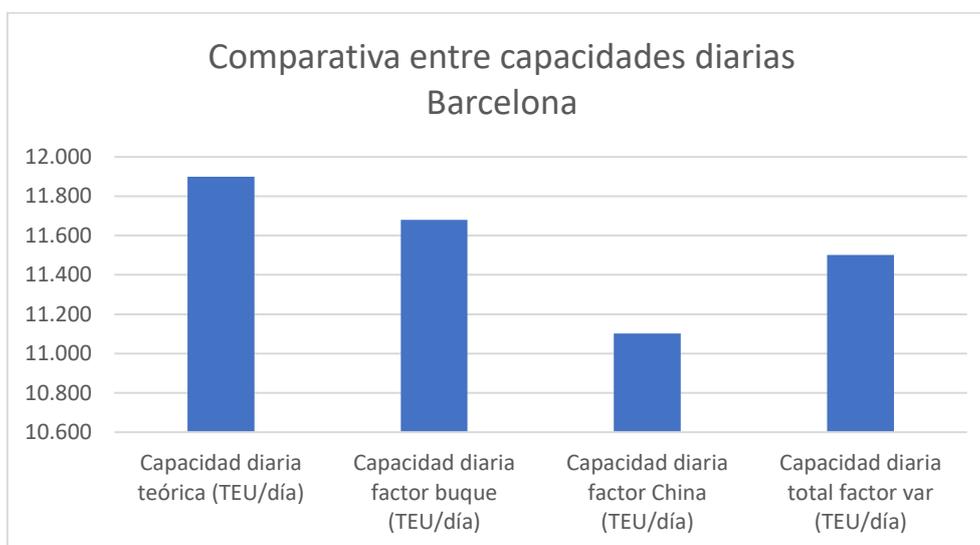


Figura 44. Comparativa entre capacidades diarias (Puerto de Barcelona).

En este caso, el factor más penalizador es el factor por crecimiento de China, ya que la variabilidad de tráfico en el Puerto de Barcelona no fue tan acusada durante el 2015 como en el caso de Cartagena.

6.3 Terminal de contenedores de Valencia

El Puerto de Valencia está situado en el este español, más concretamente en la Comunidad Valenciana (Figura 45). Dispone de tres terminales de contenedores: la TCV, la terminal de MSC y la terminal Noatum (Figura 46).



Figura 45. Localización del Puerto de Valencia. Fuente: Google Earth (2016).



Figura 46. Localización de las terminales de Valencia. Fuente: Folleto Autoridad Portuaria de Valencia (2014).

Sus características son las mostradas en la Tabla 21.

	TCV	MSC	Noatum
Longitud línea atraque (m)	1230	770	1780
Tiempo operativo al año (horas)	8640		
Tiempo operativo al día (horas)	24		
Escalas en 2015	3197		
Contenedores movidos en 2015 (TEU)	4.615.196		
Movimientos/escala	1443,60		
Productividad media buque atracado (mov/hora)	60	60	60

Tabla 21. Características de las terminales de contenedores de Valencia. Fuente: Anuario estadístico 2015 (Valenciaport).

6.3.1 Capacidad anual según Monfort et al (2012)

Con los datos obtenidos anteriormente y la formulación de capacidad anual expuesta en el apartado 4.4.1, los datos sobre capacidad anual de las terminales de contenedores de Valencia se exponen en la Tabla 22. También se muestra la capacidad diaria teórica obtenida con el dato de capacidad anual dividido por 360, que son los días operativos considerados para el cálculo de la capacidad anual.

	TCV	MSC	Noatum
Número puestos atraque	4,66	4,38	6,74
Tasa ocupación admisible (%)	73%	57%	78%
Capacidad anual (TEU/año)	1.763.149	1.292.760	2.726.313
Capacidad diaria teórica (TEU/día)	4.898	3.591	7.573
Capacidad diaria teórica total(TEU/día)	16.062		

Tabla 22. Capacidad anual y diaria teórica de las terminales de Valencia.

6.3.2 Capacidad diaria con factor de variabilidad

En la Tabla 23 se muestran los datos necesarios para el cálculo de la capacidad diaria afectada por el factor de variabilidad expuesto en el apartado 5.2 y en la Tabla 24 se expone la capacidad diaria para las terminales de Valencia.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Movimientos mensuales (TEUs)	386.920	357.316	424.308	411.560	390.513	380.777	395.566	404.557	375.951	354.474	371.784	361.470
Media mensual (TEUs)	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600
Variabilidad	1%	-7%	10%	7%	2%	-1%	3%	5%	-2%	-8%	-3%	-6%

Tabla 23. Movimientos mensuales y variabilidad respecto a la media en las terminales de Valencia. Fuente: Puertos del Estado.

Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	402.237
Diferencia en % respecto a la media de los 12 meses (coeficiente dif)	4,59%
Factor f_{var}	0,954
Capacidad diaria (TEU/día)	15.324

Tabla 24. Factor de variabilidad y capacidad diaria para las terminales de contenedores de Valencia.

6.3.3 Capacidad diaria con factor de crecimiento de China

En la Tabla 25 se exponen los datos necesarios para el cálculo de la capacidad diaria de las terminales de Valencia con el factor de crecimiento de China visto en el apartado 5.3.1, así como el resultado de dicho cálculo.

Crecimiento interanual PIB China	6,7 %
Factor f_{China}	0,933
Capacidad diaria (TEU/día)	14.986

Tabla 25. Factor de crecimiento de China y capacidad diaria para las terminales de contenedores de Barcelona.

6.3.4 Capacidad diaria con factor de crecimiento de los buques portacontenedores

En la Tabla 26 se muestra el factor de crecimiento del tamaño del buque máximo, además del factor de tamaño medio de buque, así como el resultado del cálculo de la capacidad para el Puerto de Valencia.

Factor $f_{buque\ med}$	1,06
Factor $f_{buque\ máx}$	0,93
Capacidad diaria (TEU/día)	15.765

Tabla 26. Factores de crecimiento de los buques y resultado en TEU/día para el Puerto de Valencia.

6.3.5 Resumen de resultados para las terminales de Valencia

En la Tabla 27 se ofrece un resumen de resultados comparativo entre la capacidad teórica obtenida con el cálculo de la capacidad anual dividida entre 360 días (días operativos) y las capacidades diarias obtenidas con los distintos factores mencionados anteriormente para el caso del Puerto de Valencia. En la Figura 47 se puede observar dicha diferencia en forma de gráfico.

Capacidad diaria teórica (TEU/día)	16.062
Capacidad diaria total factor var (TEU/día)	15.324
Diferencia factor var - diaria total	-4,59%
Capacidad diaria factor China (TEU/día)	14.986
Diferencia factor China - diaria total	-6,70%
Capacidad diaria factor buque (TEU/día)	15.765
Diferencia factor buques - diaria total	-1,85%

Tabla 27. Resumen de resultados de capacidad diaria (Puerto de Valencia).

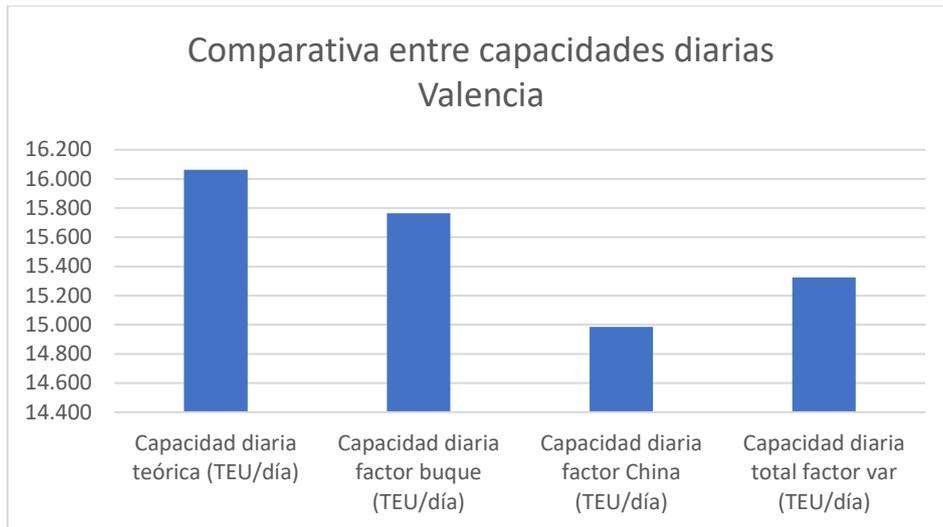


Figura 47. Comparativa entre capacidades diarias (Puerto de Valencia).

Al igual que en el caso del Puerto de Barcelona, el factor más penalizador es el factor por crecimiento de China, ya que la variabilidad de tráfico en el Puerto de Valencia tampoco fue tan acusada durante el 2015 como en el caso de Cartagena.

Se ha tratado de encontrar una relación entre la variabilidad y algún parámetro del puerto para elaborar un factor que pueda utilizarse en cualquier situación. Se han estudiado los movimientos totales y la localización del puerto, pero no se ha encontrado ninguna relación entre la variabilidad del tráfico y la zona geográfica (Figura 48) o el número de movimientos totales (Figura 49).

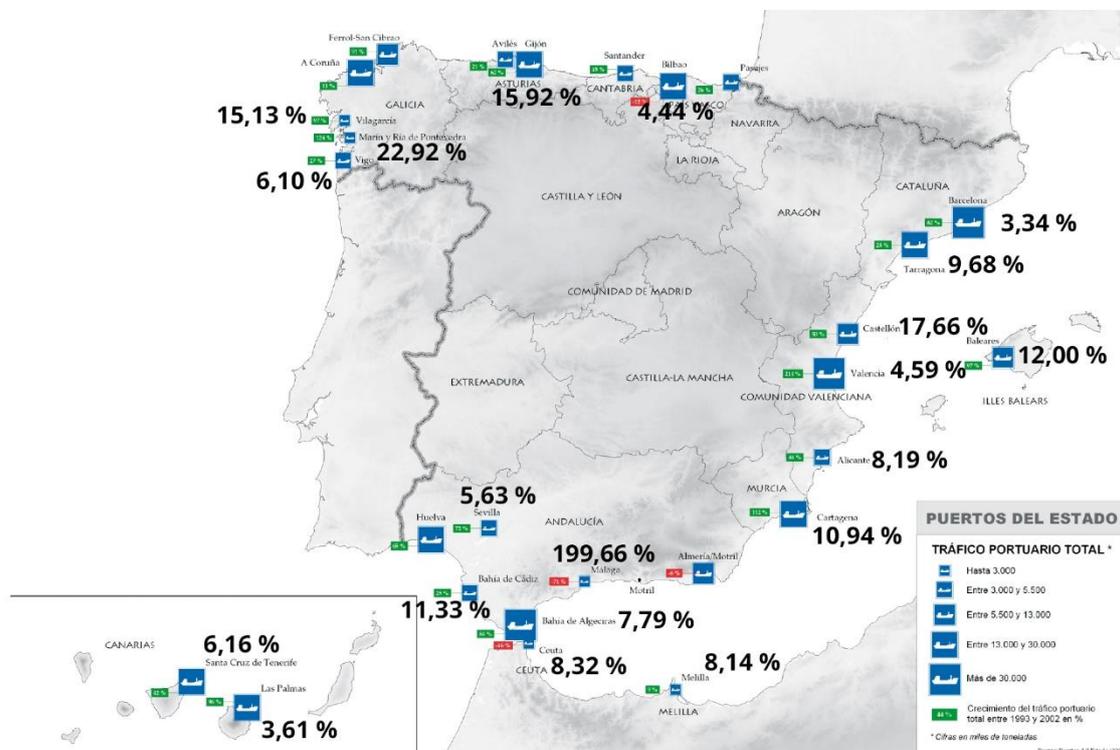


Figura 48. Variabilidad en función de la localización del puerto. Mapa base extraído del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes (2015).

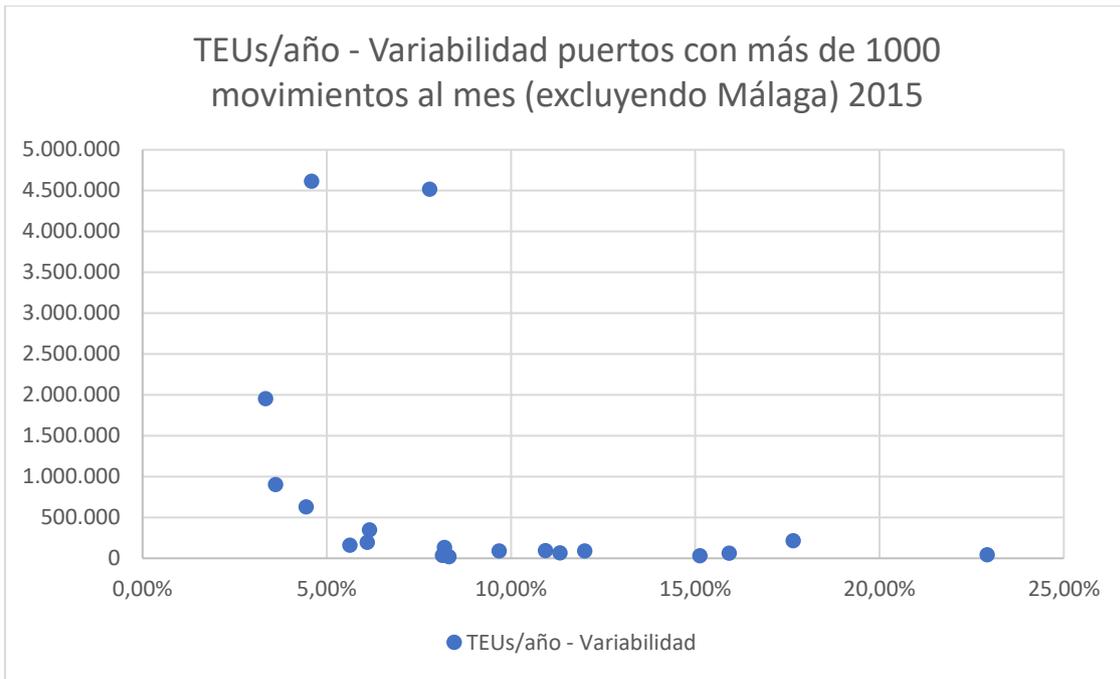


Figura 49. Relación entre los movimientos totales anuales y la variabilidad mensual en 2015. Elaboración propia con datos de Puertos del Estado.

7 Conclusiones

Tras el estudio de los resultados, se pueden extraer varias conclusiones relacionadas con los factores empleados para la corrección de la formulación, la variabilidad y la rentabilidad de la ampliación de la línea de atraque.

En este estudio se han empleado tres factores correctores: el factor del crecimiento de China, el factor del crecimiento de los buques y el factor de variabilidad. El factor de crecimiento de China pretende corregir la capacidad en función del aumento de las exportaciones de la considerada “fábrica del mundo”, que actualmente es China. Este factor tiene la desventaja de que China no ofrece tantos datos sobre su economía como un país europeo, por lo que los datos sobre su crecimiento pueden no ser los reales. Además, es difícil prever el crecimiento o la desaceleración de su economía, por lo que puede generar errores en una planificación a largo plazo.

El factor del crecimiento de los buques introduce la dificultad de los puertos de manejar los grandes buques que se construyen actualmente. También se ha querido introducir el factor que representa todo lo contrario, es decir, las ventajas que ofrece la economía de escala de aquellos buques con una capacidad menor a 12.000 TEUs. Este factor se ha considerado más fiable porque los datos sobre la flota se conocen con mayor exactitud que los del crecimiento del país asiático. Por otra parte, es más fácil hacer una prognosis del crecimiento de los buques si se quiere hacer una planificación a largo plazo (Gómez Paz 2013). Como aspecto negativo cabe destacar que no tiene en cuenta la afección que puede tener en un puerto la coincidencia de varios buques con una capacidad menor a 12.000 TEUs.

El factor sobre la variabilidad representa la inestabilidad del tráfico de contenedores a lo largo del año. Este factor se ha considerado el más adecuado de los tres, ya que se obtiene con datos reales de tráfico de contenedores. Los datos sobre tráfico de los puertos españoles están disponibles para la consulta de cualquier persona que lo desee y la elaboración de dicho factor es sencilla si se poseen esos datos. Asimismo, se puede elegir que rango de tiempo utilizar para la elaboración del mencionado factor o incluso tomar datos de diferentes puertos si es que se está planificando la construcción de una nueva infraestructura.

En todo caso, se ha constatado la necesidad de elaborar una formulación de capacidad diaria como la mostrada en este trabajo. Es difícil planificar y gestionar una terminal de contenedores con datos de capacidad anuales, ya que se ha mostrado que la variabilidad respecto al movimiento medio de TEUs puede llegar al 200 % en casos extremos como el del Puerto de Málaga o estar entre el 10 % y el 20 % en casos más frecuentes (Anexo 1).

Por último, se hace necesario un estudio del factor de variabilidad con datos diarios y no mensuales, ya que la variabilidad diaria se antoja diferente a la mensual. Con dicho estudio, se podrán calcular mejor las variabilidades en los puertos y los costes asociados a la construcción de las nuevas infraestructuras.

8 Futuras líneas de investigación

Tras el estudio preliminar de la posibilidad de crear una formulación de capacidad diaria, se ha concluido que las posibles líneas de investigación futuras son:

- Estudiar el tráfico diario de los puertos españoles para extraer un factor de variabilidad más preciso, tal y como se ha calculado en el apartado 5.2.
- Desarrollar el factor de crecimiento de China teniendo en cuenta no solo su crecimiento del PIB, sino el crecimiento interanual de sus exportaciones y su futura progresión. Tener en cuenta también el crecimiento de la India, país que se está posicionando como gran exportador.
- Estudiar no solo la capacidad de la línea de atraque sino también la capacidad de almacenamiento y la conexión entre ellas.
- Buscar una relación entre la variabilidad y alguno de los parámetros característicos de los puertos, como puede ser el tipo de mercancía que reciben con mayor asiduidad.

9 Bibliografía

Anuario estadístico Puerto de Barcelona (2015).

Anuario estadístico Puerto de Valencia (2015).

Autoridad Portuaria de Barcelona. Sitio web: www.portdebarcelona.cat. Última consulta: 2017, enero 30.

Autoridad Portuaria de Cartagena. Sitio web: www.apc.es. Última consulta: 2017, enero 30.

Autoridad Portuaria de Valencia. Sitio web: www.valenciaport.com. Última consulta: 2017, enero 30.

Folleto Autoridad Portuaria de Valencia (2014).

Fominaya, M. (2014). *Introducción buque portacontenedores*.

Gómez Paz, M. (2013). *Diseño y aplicación de una metodología prospectiva para la determinación de los condicionantes futuros del crecimiento de los grandes buques portacontenedores*.

Google Earth. Última consulta: febrero 2017.

Guía de Servicios Puerto de Cartagena (2010).

Hutchison Ports BEST. Sitio web: www.best.com.es Última consulta: 2017, enero 15.

Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., Sánchez, V. & del Val, M. (2003). *Ingeniería de Carreteras Volumen 1*.

La terminal Best del Puerto de Barcelona acabará su ampliación en 2015 (2014, junio 6).
Noticia en *Expansión* (www.expansion.com).

Llamazares, O. (2011). *Guía práctica de los Incoterms 2010*.

Meersman, H., Van de Voorde, E. & Vanelslander, T. (2012). *Maritime logistics: contemporary issues. Port Congestion and Implications to Maritime Logistics*.

Memoria anual Puerto de Cartagena (2015).

Monfort, A. (2015) Análisis de los factores determinantes en el cálculo de la capacidad por línea de atraque de una terminal de contenedores: propuesta de niveles de servicio en su concesionamiento.

Monfort, A., Aguilar, J., Vieira, P., Monterde, N., Obrer, R., Calduch, D., Martín A. & Sapiña, R. (2012). *Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores*. Valencia: Fundación VALENCIAPORT.

Monfort, A., Aguilar, J., Vieira, P., Monterde, N., Obrer, R., Calduch, D., Martín A. & Sapiña, R. (2012). *La terminal portuaria de contenedores como sistema modal en la cadena logística*. Valencia: Fundación VALENCIAPORT.

Noatum. Sitio web: www.noatum.com Última consulta: 2017, enero 17.

Obrer, R. (2015). *Nueva determinación de la capacidad de muelles en terminales de contenedores mediante técnicas de simulación*.

Pery, P & Camarero, A. (2003). *Determinación de la línea de atraque en los puertos españoles*. Madrid: Departamento de Ingeniería Civil. Transportes. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

Puertos del Estado. Sitio web: www.puertos.es Última consulta: 2017, enero 12.

Rodríguez, A. (2014). *El sistema portuario español. Transporte y logística. Modelos de planificación y gestión*.

Sitmurcia. Última consulta: febrero 2017.

TCV Stevedoring Company, APM Terminal. Sitio web: www.tcv.es Última consulta: 2017, enero 15.

Terminal de Contenidors de Barcelona. Sitio web: www.tbcn.com Última consulta: 2017, enero 16.

Tirschwell, P. (2014). The Trends, Outlook and Market Forces Impacting Ship Turnaround Times. *JOC Port Productivity*.

UNCTAD (2014). *Review of maritime transport 2013*.

UNCTAD (2015). *Review of maritime transport 2014*.

UNCTAD (2016). *Review of maritime transport 2015*.

Anexo 1: Tráfico de contenedores (TEUs) en terminales con más de mil movimientos al mes (2015)

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Alicante	10.363	9.050	11.849	10.723	12.267	10.777	11.136	10.903	10.574	13.486	11.364	11.388	133.880
MEDIA	11.157	11.157	11.157	11.157	11.157	11.157	11.157	11.157	11.157	11.157	11.157	11.157	
Diferencia	-794	-2.107	692	-434	1.110	-380	-21	-254	-583	2.329	207	231	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	11.849	0	12.267	0	0	0	0	13.486	11.364	11.388	60.354
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	12.071												
Diferencia	914												
Diferencia en %	8,19%												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Bahía de Algeciras	351.582	302.025	362.448	342.691	353.722	369.461	396.935	403.238	423.081	433.538	387.841	389.206	4.515.768
MEDIA	376.314	376.314	376.314	376.314	376.314	376.314	376.314	376.314	376.314	376.314	376.314	376.314	
Diferencia	-24.732	-74.289	-13.866	-33.623	-22.592	-6.853	20.621	26.924	46.767	57.224	11.527	12.892	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	0	0	0	0	396.935	403.238	423.081	433.538	387.841	389.206	2.433.839
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	6
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	405.640												
Diferencia	29.326												
Diferencia en %	7,79%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Bahía de Cádiz	5.652	5.565	7.723	5.655	6.556	5.524	6.158	5.727	4.628	5.248	4.221	4.657	67.314
MEDIA	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	
Diferencia	43	-45	2.114	46	947	-86	549	118	-982	-362	-1.389	-953	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	5.652	0	7.723	5.655	6.556	0	6.158	5.727	0	0	0	0	37.471
Número de meses con variabilidad positiva	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	6
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	6.245												
Diferencia	636												
Diferencia en %	11,33%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Baleares	5.016	4.995	6.185	6.514	7.602	7.841	9.062	7.540	9.019	9.638	7.996	8.232	89.640
MEDIA	7.470	7.470	7.470	7.470	7.470	7.470	7.470	7.470	7.470	7.470	7.470	7.470	
Diferencia	-2.454	-2.475	-1.285	-956	132	371	1.592	70	1.549	2.168	526	762	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	0	0	7.602	7.841	9.062	7.540	9.019	9.638	7.996	8.232	66.930
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	8.366												
Diferencia	896												
Diferencia en %	12,00%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Barcelona	141.048	145.162	171.271	162.244	163.492	167.408	176.154	166.239	159.135	173.263	162.887	164.983	1.953.286
MEDIA	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	162.774	
Diferencia	-21.726	-17.612	8.497	-530	718	4.634	13.380	3.465	-3.639	10.489	113	2.209	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	171.271	0	163.492	167.408	176.154	166.239	0	173.263	162.887	164.983	1.345.697
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	8

Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	168.212												
Diferencia	5.438												
Diferencia en %	3,34%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Bilbao	32.848	50.825	54.640	52.247	52.650	59.958	54.202	52.597	52.848	52.490	53.347	58.650	627.302
MEDIA	52.275	52.275	52.275	52.275	52.275	52.275	52.275	52.275	52.275	52.275	52.275	52.275	
Diferencia	-19.427	-1.450	2.365	-28	375	7.683	1.927	322	573	215	1.072	6.375	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	54.640	0	52.650	59.958	54.202	52.597	52.848	52.490	53.347	58.650	491.382
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	54.598												
Diferencia	2.323												
Diferencia en %	4,44%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Cartagena	6.531	6.442	9.581	6.669	7.584	7.821	8.389	8.696	8.299	7.067	8.265	6.692	92.036
MEDIA	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	7.670	
Diferencia	-1.139	-1.228	1.911	-1.001	-86	151	719	1.026	629	-603	595	-978	

Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	9.581	0	0	7.821	8.389	8.696	8.299	0	8.265	0	51.051
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	6
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	8.509												
Diferencia	839												
Diferencia en %	10,94%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Castellón	12.987	9.658	21.350	17.486	24.434	18.937	22.026	19.956	19.585	15.189	15.909	17.146	214.663
MEDIA	17.889	17.889	17.889	17.889	17.889	17.889	17.889	17.889	17.889	17.889	17.889	17.889	
Diferencia	-4.902	-8.231	3.461	-403	6.545	1.048	4.137	2.067	1.696	-2.700	-1.980	-743	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	21.350	0	24.434	18.937	22.026	19.956	19.585	0	0	0	126.288
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	6
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	21.048												
Diferencia	3.159												
Diferencia en %	17,66%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Ceuta	1.519	1.536	1.698	1.368	1.443	1.898	1.456	1.215	1.347	1.659	1.510	1.542	18.191
MEDIA	1.516	1.516	1.516	1.516	1.516	1.516	1.516	1.516	1.516	1.516	1.516	1.516	
Diferencia	3	20	182	-148	-73	382	-60	-301	-169	143	-6	26	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	1.519	1.536	1.698	0	0	1.898	0	0	0	1.659	0	1.542	9.852
Número de meses con variabilidad positiva	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	6
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	1.642												
Diferencia	126												
Diferencia en %	8,32%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Gijón	4.106	4.419	6.173	6.202	5.091	4.858	4.877	4.471	4.371	5.809	4.438	6.191	61.006
MEDIA	5.084	5.084	5.084	5.084	5.084	5.084	5.084	5.084	5.084	5.084	5.084	5.084	
Diferencia	-978	-665	1.089	1.118	7	-226	-207	-613	-713	725	-646	1.107	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	6.173	6.202	5.091	0	0	0	0	5.809	0	6.191	29.466
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	5

Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	5.893												
Diferencia	809												
Diferencia en %	15,92%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Las Palmas	73.041	73.435	79.602	77.332	75.116	74.780	80.240	74.337	74.914	76.481	69.389	71.846	900.513
MEDIA	75.043	75.043	75.043	75.043	75.043	75.043	75.043	75.043	75.043	75.043	75.043	75.043	
Diferencia	-2.002	-1.608	4.559	2.289	73	-263	5.197	-706	-129	1.438	-5.654	-3.197	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	79.602	77.332	75.116	0	80.240	0	0	76.481	0	0	388.771
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	5
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	77.754												
Diferencia	2.711												
Diferencia en %	3,61%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Málaga	2.153	2.896	3.113	2.911	3.428	3.125	3.183	3.479	2.462	2.803	2.920	10.808	43.281
MEDIA	3.607	3.607	3.607	3.607	3.607	3.607	3.607	3.607	3.607	3.607	3.607	3.607	

Diferencia	-1.454	-711	-494	-696	-179	-482	-424	-128	-1.145	-804	-687	7.201	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.808	10.808
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	10.808												
Diferencia	7.201												
Diferencia en %	199,66%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Marín y Ría de Pontevedra	3.391	2.732	2.736	3.710	3.253	3.919	4.635	2.665	3.168	4.296	2.863	5.286	42.654
MEDIA	3.555	3.555	3.555	3.555	3.555	3.555	3.555	3.555	3.555	3.555	3.555	3.555	
Diferencia	-164	-823	-819	156	-302	365	1.081	-890	-387	742	-692	1.732	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	0	3.710	0	3.919	4.635	0	0	4.296	0	5.286	21.846
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	5
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	4.369												

Diferencia	815												
Diferencia en %	22,92%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Melilla	3.243	2.551	3.121	2.555	3.035	3.352	2.820	2.863	2.470	2.869	2.956	2.521	34.356
MEDIA	2.863	2.863	2.863	2.863	2.863	2.863	2.863	2.863	2.863	2.863	2.863	2.863	
Diferencia	380	-312	258	-308	172	489	-43	0	-393	6	93	-342	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	3.243	0	3.121	0	3.035	3.352	0	0	0	2.869	2.956	0	18.576
Número de meses con variabilidad positiva	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	6
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	3.096												
Diferencia	233												
Diferencia en %	8,14%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Santa Cruz de Tenerife	25.662	26.639	29.439	29.366	27.397	27.313	30.217	27.729	27.351	32.236	31.279	30.829	345.457
MEDIA	28.788	28.788	28.788	28.788	28.788	28.788	28.788	28.788	28.788	28.788	28.788	28.788	
Diferencia	-3.126	-2.149	651	578	-1.391	-1.475	1.429	-1.059	-1.437	3.448	2.491	2.041	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	29.439	29.366	0	0	30.217	0	0	32.236	31.279	30.829	183.366
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	6
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	30.561												
Diferencia	1.773												
Diferencia en %	6,16%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Sevilla	12.705	12.215	14.662	13.583	13.999	14.104	12.674	13.515	11.808	15.092	14.663	12.651	161.671
MEDIA	13.473	13.473	13.473	13.473	13.473	13.473	13.473	13.473	13.473	13.473	13.473	13.473	
Diferencia	-768	-1.258	1.189	110	526	631	-799	42	-1.665	1.619	1.190	-822	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	14.662	13.583	13.999	14.104	0	13.515	0	15.092	14.663	0	99.618
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	7
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	14.231												
Diferencia	759												
Diferencia en %	5,63%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Tarragona	6.851	7.255	7.784	7.229	6.731	8.314	8.643	6.622	7.205	8.186	8.134	6.898	89.852
MEDIA	7.488	7.488	7.488	7.488	7.488	7.488	7.488	7.488	7.488	7.488	7.488	7.488	
Diferencia	-637	-233	296	-259	-757	826	1.155	-866	-283	698	646	-590	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	7.784	0	0	8.314	8.643	0	0	8.186	8.134	0	41.061
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	5
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	8.212												
Diferencia	725												
Diferencia en %	9,68%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Valencia	386.920	357.316	424.308	411.560	390.513	380.777	395.566	404.557	375.951	354.474	371.784	361.470	4.615.196
MEDIA	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	384.600	
Diferencia	2.320	-27.284	39.708	26.960	5.913	-3.823	10.966	19.957	-8.649	-30.126	-12.816	-23.130	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	386.920	0	424.308	411.560	390.513	0	395.566	404.557	0	0	0	0	2.413.424
Número de meses con variabilidad positiva	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	6

Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	402.237												
Diferencia	17.638												
Diferencia en %	4,59%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Vigo	13.400	13.559	16.318	15.771	16.871	17.908	18.052	16.715	18.109	17.059	17.112	15.961	196.835
MEDIA	16.403	16.403	16.403	16.403	16.403	16.403	16.403	16.403	16.403	16.403	16.403	16.403	
Diferencia	-3.003	-2.844	-85	-632	468	1.505	1.649	312	1.706	656	709	-442	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TEUS en meses con variabilidad positiva	0	0	0	0	16.871	17.908	18.052	16.715	18.109	17.059	17.112	0	121.826
Número de meses con variabilidad positiva	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	7
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	17.404												
Diferencia	1.001												
Diferencia en %	6,10%												

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	TOTAL
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	
Vilagarcía	2.756	1.754	2.889	2.384	3.057	2.459	2.393	2.932	2.266	2.385	3.032	2.266	30.573
MEDIA	2.548	2.548	2.548	2.548	2.548	2.548	2.548	2.548	2.548	2.548	2.548	2.548	
Diferencia	208	-794	341	-164	509	-89	-155	384	-282	-163	484	-282	
Diferencia en %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

TEUS en meses con variabilidad positiva	2.756	0	2.889	0	3.057	0	0	2.932	0	0	3.032	0	14.666
Número de meses con variabilidad positiva	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	5
Media teórica de TEUs/mes en meses con variabilidad positiva	2.933												
Diferencia	385												
Diferencia en %	15,13%												