

Operativa de buque en las terminales marítimas de contenedores: estado del arte

**Carlos Arango Pastrana¹, Pablo Cortes Achedad¹, Joaquín Fernández
Valverde¹**

¹ Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas. Grupo de Ingeniería de Organización. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos, s/n, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla. cap@esi.us.es, pca@esi.us.es, jrfv@esi.us.es

Palabras clave: Puerto, Planificación, Sistemas, Operativas

1. Introducción

A partir del siglo XX han sucedido diferentes acontecimientos que aceleraron de manera drástica la evolución y desarrollo de los puertos. Entre los más importantes esta la aparición del contenedor en el transporte marítimo, lo cual redujo considerablemente los tiempos y costes de manipulación de la carga, ocasionando una disminución en las tarifas de los fletes y por ende un incremento en el flujo de los negocios. De igual forma un aspecto importante ha sido el crecimiento del comercio mundial, con una tasa media que duplica la de la producción, gracias a los acuerdos comerciales, los avances tecnológicos, entre otros. Por lo tanto cada vez sea más importante aumentar el rendimiento de las terminales portuarias.

Las terminales portuarias son un nodo básico en las redes de transporte mundiales, por lo cual todas las operaciones de estas deben ser optimizadas con el fin de lograr la máxima productividad global en este nodo de la red, Ambrosino et al (2004). Diferentes autores han realizado una división de la operativa de la terminal marítima de contenedores en sub-sistemas, lo cual permite un mejor aprovechamiento de los recursos debido a la diversidad en la maquinaria que se emplea para su funcionamiento.

En la literatura encontramos trabajos como los realizados por Steenken et al (2004) y Steenken D y Voß S. (2008) en los cuales los autores recopilan los principales trabajos relacionados con la gestión de las terminales de contenedores. Los autores agrupan los diferentes trabajos según el sub-sistema de la terminal gestionada. Se debe tener en cuenta que la operativa de cada terminal depende de su tipo, lo cual a su vez depende de factores como tamaño, tipo de mercancía manipulada, etc. Entre los diferentes tipos de terminal los dos principales grupos son las terminales de contenedores especializadas “hubs” y las terminales de contenedores multipropósito. A continuación se realiza una clasificación de los principales subsistemas que se pueden encontrar en una terminal marítima de contenedores.

- Operativa de Buque

- Asignación de muelle
- Planificación de estiba en el buque
- Programación de grúas de muelle
- Operativa de almacenaje y apilado
 - Localización de contenedores en la explanada
 - Relocalización de contenedores
- Operativa de transferencia
 - Optimización del transporte en los muelles
 - Optimización del transporte terrestre
 - Optimización y programación de las grúas

Las terminales marítimas con poco tránsito de contenedores en la mayoría de los casos no tendrían la clasificación de sub-sistemas u operativas mencionados anteriormente ya que por sus características particulares disponen de sus propias operativas, o bien agrupan algunas de ellas, ya que su complejidad es mucho menor.

En este trabajo se realiza una clasificación de los diferentes trabajos relacionados con la operativa de buque en las terminales marítimas de contenedores (TCP), De igual forma se realiza un selección de los trabajos más relevantes de cada sub-sistema para posteriormente realizar un análisis más detallado de estos. Por último se analiza la importancia de la operativa de buque en las TCP.

2. Operativa de Buque

El aviso de que un buque portacontenedores llega a una TCP, genera tres importantes preguntas que se deben resolver mucho antes de que este llegue. Los incrementos en el tamaño de los buques y en el flujo de contenedores en el comercio mundial han generado que dichas preguntas se conviertan en verdaderos problemas para las TCP. Se relacionan a continuación:

- El problema de asignación de muelles o *Berth allocation problem*.
- La planificación de las estiba dentro del buque / plan maestro de muelle o *Stowage planning problem / Master bay planning problem*.
- *Problema de programación de grúas pórtico o The quay crane scheduling problem*.

Estos tres problemas comparten un mismo objetivo el cual es minimizar el tiempo que los buques portacontenedores permanecen en la TCP. Este tiempo está conformado a su vez por el tiempo de operaciones de carga y descarga de contenedores y por los tiempos de espera. A continuación se explica cada situación.

2.1. Asignación de muelle "*Berth allocation*"

Cada vez que un buque llega a una TCP, son tenidas en cuenta sus características básicas tales como: tamaño, cantidad de contenedores a descargar y cargar, y las localizaciones de estos, para decidir que muelle se le debe asignar. Dichas características proporcionan cierta información que se debe utilizar previamente para planificar la asignación del muelle teniendo en cuenta las siguientes situaciones:

- Según la localización del muelle asignado, los contenedores que le serán cargados deben estar almacenados lo más cerca posible. De igual forma se debe reservar espacio en la zona de almacenaje (ZA) lo más cerca posible para los contenedores que serán descargados y así minimizar las distancias recorridas por las carretillas.
- Planificar el tiempo que estará ocupando el muelle por cada buque y por ende sincronizarlo con los otros buques que llegaran.

Muchos autores han realizado diferentes adaptaciones del *Berth Allocation Problem* (BAP) para proponer métodos de solución, por ejemplo Imai et al (2001), Imai et al (2003) y Nishimura et al. (2001), determinan el BAP como un problema de asignación de muelle dinámico (DBAP) el cual es una generalización del problema de asignación de muelle estocástico (SBAP). Ellos proponen un algoritmo genético en sistemas de muelles públicos que pueden ser adaptados a una aplicación real.

Liu et al (2006) y Lim (1998), consideran que el BAP y el problema de programación de grúas pórtico (QCSP) son un único problema ya que el tiempo que un buque estará atracado en un muelle dependerá del número de grúas que le sea asignadas. Imai et al (2005b) e Imai et al (2006a), resuelven el BAP en TCP con sistema de multi-usuarios. En el primer trabajo los autores usan un espacio de localización continuo y en segundo trabajo ellos resuelven el problema mediante el uso de algoritmos genéticos en un puerto con muelles interiores (*idented berth*), en los cuales los mega-portacontenedores y los *feeders* son servidos con alta productividad de muelle. Imai et al (2003), considera las relaciones entre las TCP y las líneas marítimas de transporte ya que algunas de estas exigen prioridad de servicio en algunos de sus buques, los autores modifican el BAP para convertirlo al BAP con servicios prioritarios.

Park y Kim (2003), proponen un método para la asignación de los muelles y la programación de las grúas pórtico, consideran el BAP y el QCSP de forma conjunta basándose en que el tiempo total que permanece un buque en muelle depende directamente del número de grúas asignadas a éste para realizar las tareas de carga y descarga ya que a mayor número de grúas trabajando menor será el tiempo de operación.

Para la interpretación de los datos y como herramienta de ayuda los autores diseñan un gráfico donde se ilustran las soluciones admisibles obtenidas del modelo, en la figura 1 se muestra una solución admisible del problema para 5 buques portacontenedores, en la cual se puede ver por ejemplo, que el buque B comenzara operaciones en el instante de tiempo 5 con 3 grúas pórtico y terminara en el 9 con 2 grúas pórtico, además el muelle utilizará 7 unidades de muelle las cuales están entre el punto 7 y el 13.

El eje horizontal representa el tamaño total del muelle de la terminal (toman el muelles como una línea costera continua) y el eje vertical representa el tiempo disponible para realizar la carga y descarga de contenedores. Cada uno de los rectángulos en el gráfico que están señalados con letras representa buques portacontenedores. Los cuadros pequeños que representan unidades de tiempo y longitud de muelle y los números dentro del gráfico en el eje vertical corresponden a la cantidad de grúas asignadas a un buque en cada instante de tiempo.

En la tabla 1 se realiza una clasificación de algunas de las referencias más relevantes en la gestión muelles que se encuentran en la literatura. El objetivo predominante en estos trabajos es minimizar el tiempo total de servicio el cual incluye, el tiempo de espera del buque para entrar al puerto y el tiempo de operación de carga y descarga.

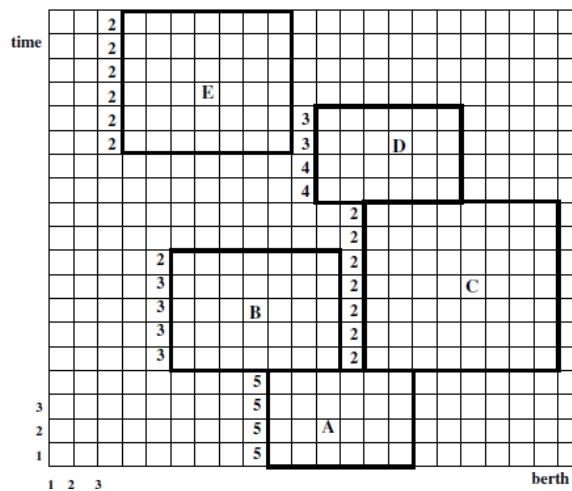


Figura 1. Solución admisible del BAP

Tabla 1. Clasificación de las referencias que trabajan la asignación de muelles

Trabajo	Modelo	Metodología	Objetivo
Evers y Feijter (2004)	Modelo de simulación	Simulación	Evaluar métodos
Lokuge y Alahakoon (2007)	Proceso algorítmico	Sistemas multi-agentes MAS	Minimizar tiempo de espera
Kim y Kyung (2003)	MIP	Heurística	Minimizar tiempos y costes
Wang y Lim (2007)	MIP	Heurística	Minimizar costes
Imai et al (2008)	IP	Heurística + Algoritmo Genético	Minimizar costes
Meisel y Bierwirth (2009)	MIP	Meta heurística	Minimizar costes
Cordeau et al (2005)	MIP	Heurística y Búsqueda tabú	Minimizar tiempos
Cordeau et al (2007)	QP	Heurística	Minimizar distancias
Park y Kim (2003)	IP	Heurística	Minimizar costes
Lim (1998)		Heurística descriptiva	Minimizar tiempos
Imai et al (2007)	IP	Heurística y Algoritmo Genético	Minimizar tiempos
Imai et al (2003)	MIP	Heurística	Minimizar tiempos
Imai et al (2005)	LP	Heurística	Minimizar tiempos
Nishimura et al (2001)	MIP	Heurística y Algoritmo Genético	Minimizar tiempos
Moorthy y Teo (2006)	Proceso algorítmico	Meta heurística	Minimizar tiempos y costes
Imai et al (2001)	MIP	Meta heurística	Minimizar tiempos y costes

2.2. Planificación de Estiba en el buque o Plan maestro de muelle “*Stowage planning Problem / MBPP – Master Bay Planning Problem*”

En el pasado el plan de apilado de contenedores dentro del buque (*Stowage Planning Problem - SPP*) era planificado por las líneas navieras. Ellas diseñaban su plan de estiba debido a que necesitaban maximizar su capacidad de carga y cumplir protocolos de seguridad que permitieran la estabilidad del buque. Todo esto se basaba en que eran estas quien tenían gran cantidad de información de la carga mucho antes que la terminal Dorndorf et al (2007).

En la actualidad las navieras continúan realizando un plan de estiba para cada TCP que visitan. Este es entregado a los operadores con el fin de ser cumplido y por lo tanto sea minimizar el espacio utilizado. Esto genera algunos inconvenientes ya que de igual forma las TCP realizan su plan de estiba y en muchos casos al ser diferentes genera problemas. En Imai et al (2006b) plantean un modelo multi-objetivo para dar solución a esta situación en el cual se busca maximizar la estabilidad del buque y minimizar las relocalizaciones en la ZA.

Los principales objetivos del SPP son maximizar la utilización del buque y minimizar el tiempo que permanece atracado en la terminal y algunos trabajos como Alvarez (2006) adicionalmente tienen en cuenta la estabilidad de cada uno de los bloques de contenedores. Para diseñar el plan de estiba se considera el plan que las líneas navieras realizan como un pre plan, además de aspectos como: tamaño, peso, puerto de destino (para los que se cargan y los que ya están abordo), entre otros. Generando así un plan de estiba exacto.

En algunos casos el SPP es llamado plan maestro de localización de contenedores dentro del buque (*MBPP- Master Bay Planning Problem*) como en Ambrosino et al (2004), los autores determinan cómo se deben apilar un conjunto C de n contenedores de diferente tipo dentro de un conjunto L de m posible localizaciones en un buque. Tienen en cuenta algunas restricciones estructurales y operacionales, relacionadas tanto con el buque como con los contenedores. El objetivo es minimizar el total de tiempo de apilado, el cual depende del tiempo requerido para cargar todos los contenedores a bordo y minimizar el coste de relocalización de contenedores.

En algunos trabajos el SPP es abordado como un problema de embalaje. Por ejemplo Sciomachen y Tanfani (2006) abordan el problema considerando los contenedores como artículos y el buque un recipiente de embalaje. El objetivo es minimizar el tiempo de estiba. En este objetivo coinciden la mayoría de los trabajos ya que todas las navieras toman como criterio en las decisiones de las TCP que visitaran en sus rutas; la productividad de las TCP medida en “operaciones de manipulación de contenedores por hora”.

En el trabajo de Ambrosino et al (2006) Para resolver el problema tienen en cuenta la estructura y el tamaño del buque. Los autores identifican cada localización con tres índices que da su posición en tres dimensiones:

- Sección en el buque con respecto a su división transversal desde la proa a la popa representada por i .
- Hileras que dan la posición con respecto vertical, división del buque de lado a lado (se inicia la numeración del centro hacia fuera), representada por j .
- Nivel el cual da la posición con respecto a las posiciones horizontales en las correspondientes secciones (se comienza a numerar del fondo de la bodega a la parte superior del buque) representada por k .

Se debe tener en cuenta que los números de identificación de la posición del contenedor en el buque dependen del sistema adoptado por cada compañía marítima, en este trabajo los autores eligieron uno de los más usados; una clasificación incremental con respecto al primer índice, esto se puede observar en la Figura 2.

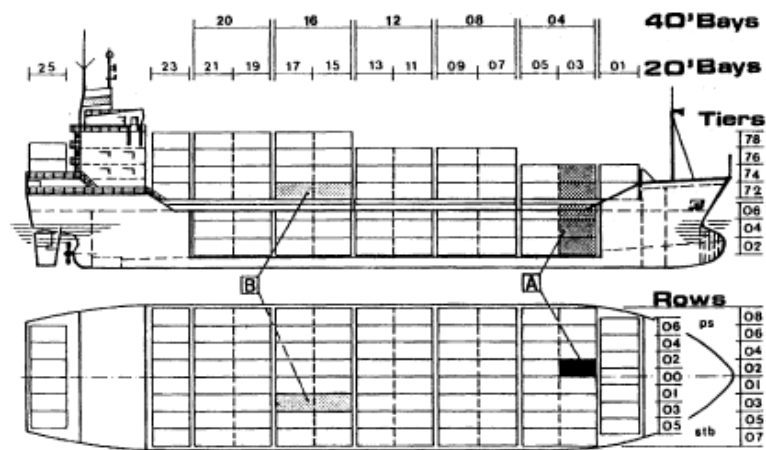


Figura 2. Sistema de división de un buque portacontenedores

Las secciones son numeradas de proa a popa, para los contenedores de 20' están numeradas con números impares (1,3,5, etc.) y dos secciones impares contiguas convencionalmente representan una sección de 40' que está numerada con números pares (2, 4, 6). Para el segundo índice, correspondiente a las hileras, las localizaciones están dadas en números pares si estos están localizados de lado al mar o en números impares si están del lado al muelle. Finalmente para el tercer índice, correspondiente a los niveles, son numerados del fondo del buque a la cubierta, con números pares salvo los niveles que se encuentran por encima de la cubierta a los cuales se le asignaran números superiores a 50 (72, 74, 76), con el objetivo de diferenciar los contenedores que están dentro del buque y sobre el buque. En la tabla 2 se relacionan otros trabajos consultados.

Tabla 2. Clasificación de las referencias que trabajan el plan de estiba

Trabajo	Modelo	Metodología de resolución	objetivo
Sciomachen y Tanfani (2007)	Proceso algorítmico	Heurística	Minimizar tiempo de estiba
Ambrosino et al (2006)	IP	Heurística	Minimizar tiempo de estiba
Alvarez (2006)	MIP	Heurística + Búsqueda tabú	Minimizar costos de relocalizaciones
Imai et al (2006)	MOIP	Heurística + Algoritmo Genético	Minimizar relocalizaciones
Ambrosino et al (2004)	IP	Heurística	Minimizar tiempo de estiba
Gumus et al (2008)	Proceso algorítmico	Heurística	Minimizar tiempo de estiba

2.3. Problema de programación de grúas de muelle “The Quay Crane Scheduling Problem/The Crane Split”

La programación de las grúas de muelle o grúas pórtico (QCSP) se realiza con el principal objetivo de minimizar el tiempo total de operaciones de carga y descarga de cada buque, lo que por ende minimiza el tiempo que estarán estos en la terminal atracados. Al resolver el QCSP se debe obtener la siguiente información:

- Cantidad de grúas que atenderán a cada buque en las operaciones de carga y descarga.
- El tiempo que permanecerá cada grúa asignada a un buque.
- Cuál será la secuencia de tareas que realizará cada grúa (como cargar y descargar).
- Como estarán distribuidas las grúas asignadas a lo largo del buque (una grúa por sección).

Para resolver este problema es necesario tener indicadores de movimientos de grúa/hora, ya que estos darán los datos de entrada al modelo. En la figura 3 se muestran tres grúas pórtico asignadas a diferentes secciones de un buque.

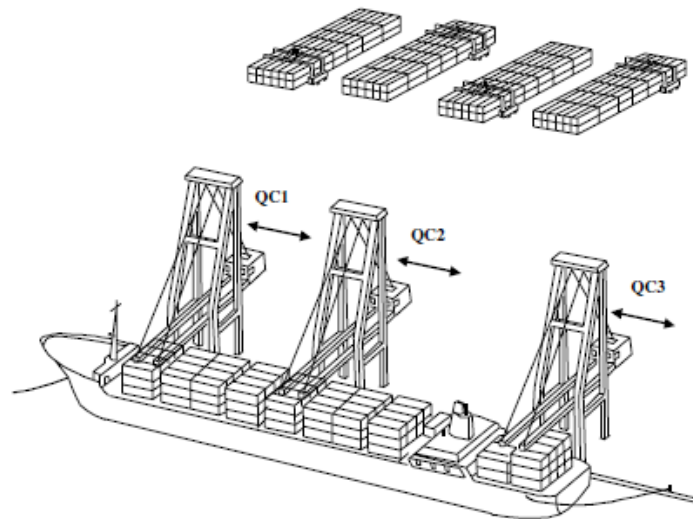


Figura 3. Grúas pórtico de muelle en operación

Peterkofsky y Daganzo, (1990) afirman que un buque de carga pasa el 60% de su vida útil en puerto, por lo tanto existe la necesidad de minimizar este tiempo, aumentando el rendimiento del muelle y la disminución de las demoras operativas. Para construir el modelo consideran un buque tipo portacontenedores, teniendo cada bodega una parte del trabajo a realizar y tomando el rendimiento de las grúas como constante, programan la operatividad del buque como un taller con n máquinas idénticas en paralelo (las grúas) que trabajan en varias bodegas, con trabajos independientes, de una sola etapa y preestablecidos. En la práctica esto implica pocos buques y muchas bodegas, en consecuencia la programación es muy compleja para mantener la eficiencia global operativa. Se busca que las grúas mantengan la eficiencia

global y minimizar el coste por demoras mediante una ponderación de las mismas y una pre-asignación de las tareas de cada grúa.

En la literatura se encuentran diferentes trabajos relacionados a la programación de grúas pórtico, si bien se pueden identificar enfoques predominantes. Autores como Zhang y Kim (2008), Moccia et al (2006), Ng y Mak (2006) y Tavakkoli-Moghaddam et al (2008) dan gran importancia a determinar la secuencias de tareas que deben realizar cada grúa pórtico, con el objetivo de minimizar tiempo. En otros trabajos son propuestas nuevas estrategias para la carga y descarga, Goodchild y Daganzo (2006; 2007) consideran un nuevo método llamado doble ciclo, en el que se busca minimizar los movimientos sin contenedores realizados por las grúas pórticos (carga y descarga de contenedores simultanea). Al estar todas sobre las mismas vías para el desplazamiento, autores como Lim et al (2004) y Lee et al (2006) tienen en cuenta la interferencia entre las grúas pórtico. En la tabla 3 son relacionados otros trabajos que se han enfocado en la programación de las grúas de muelle.

Tabla 3. Clasificación de las referencias que trabajan la programación de grúas pórtico

Trabajo	Modelo	Metodología de resolución	Objetivo
Liu et al (2006)	MIP	Heurística	Minimizar tiempos
Zhang y Kim (2008)	MIP	Heurística	Minimizar tiempos
Peterkofsky y Daganzo (1990)	LP	Heurística	Minimizar tiempos
Moccia et al (2005)	MIP	Heurística	Minimizar tiempos
Kim y Park (2004)	MIP	Heurística	Minimizar tiempos
Jung et al (2006)	Proceso algorítmico	Heurística	Minimizar tiempos
Tavakkoli-Moghaddam et al (2008)	MIP	Heurística + Algoritmo Genético	Minimizar costos
Goodchild y Daganzo (2006)	LP	Heurística	Minimizar tiempos
Goodchild y Daganzo (2007)	Modelo de simulación	Simulación	Evaluar estrategias
Ng y Mak (2006)	IP	Heurística	Minimizar tiempos
Lee et al (2008)	MIP	Heurística + Algoritmo Genético	Minimizar tiempos
Daganzo (1989)	IP	Métodos Exactos	Minimizar tiempo de espera
Lim et al (2004)	Proceso algorítmico	Heurística	Minimizar tiempo de espera
Zhu y Lim (2004)	IP	Heurística	Minimizar tiempo de espera

3. Conclusiones

En la mayoría de los trabajos los autores coinciden que los muelles son un recurso crítico que determina la capacidad de las TCP, esto debido a que el coste de construir un muelle es más alto que cualquier inversión en otro tipo de instalación, lo que obliga a realizar tareas de planificación en las terminales para optimizar la utilización de los muelles con el propósito de aumentar la productividad.

De igual forma coinciden en que esta operativa es una de las más importantes en la terminales de contenedores portuarias ya que las grúas pórtico pueden ser catalogadas como la

maquinaria de manipulación más costosa de la terminal, además de ser la única maquinaria que permite realizar las operaciones de carga y descarga de contenedores en el transporte marítimo. La óptima gestión de estas permite que la mayor cantidad de grúas puedan estar disponibles para ser asignadas a otros buques. La complejidad de la operativa de buque hace prácticamente inviable abordarla de forma conjunta. De hecho, como hemos visto anteriormente, en la mayoría de los casos, suele subdividirse el funcionamiento en subsistemas. A pesar de ello los autores tienen en cuenta que los subsistemas interactúan unos con otros, por lo cual existe una dependencia entre ellos. En cada uno de los trabajos los autores utilizan diferentes herramientas tanto analíticas como informáticas para gestionar estos sub sistemas, tales como modelos heurísticos, matemáticos, meta-heurísticos, software de simulación, etc. Aún teniendo en cuenta todas estas variables y parámetros, el modelo nunca será un fiel reflejo de esta realidad compleja, aunque sí se pueden sentar las bases para una toma de decisiones más objetiva y sistematizada que mejore la eficiencia.

La eficiente gestión de la operativa de buque es percibida principalmente por las líneas de transporte marítimo. Del número de TEU/hora que la terminal sea capaz de gestionar (Un TEU equivale a un contenedor de 20 pies) dependerá en gran medida el número y la cuantía de los contratos que la autoridad portuaria obtendrá de las diferentes navieras. Así, no sólo es importante disponer de gran cantidad de recursos, sino evitar cuellos de botella en los diferentes procesos que tienen lugar en la operativa del buque, reduciendo así los tiempos que permanecen los buques portacontenedores en el muelle el mínimo posible.

Referencias

Alvarez, J. (2006) A Heuristic For vessel Planning in a reach stacker terminal. *Journal of Maritime Research* 11: 3-16.

Ambrosino, D. Sciomachen, A. Tanfani, E. (2004) Stowing a containership: the master bay plan problem. *Transportation Research Part A*, Vol 38: 81–99.

Ambrosino, D. Sciomachen, A. Tanfani, E. (2006) A decomposition heuristics for the container ship stowage problem. *Journal of Heuristics* 12: 211–233.

Dorndorf, U. et al. (2007) Ports o´call for O.R. problems. *OR/MS Today*: 36-40.

Goodchild, AV. Daganzo, CF. (2006) Double-cycling strategies for container ships and their effect on ship loading and unloading operations. *Transportation Science* 40: 473–483.

Goodchild, AV. Daganzo, CF. (2007) Crane double cycling in container ports: planning methods and evaluation. *Transportation Research Part B* 41: 875–891.

Imai, A. Nishimura, E. Papadimitriou, S. (2001) The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B* 35: 401–417.

Imai, A. Nishimura, E. Papadimitriou, S. (2003) Berth allocation with service priority. *Transportation Research Part B* 37: 437–457.

Imai, A. Nishimura, E. Papadimitriou, S. (2006a) Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity. *Transportation Research Part E* 44: 136-151.

- Imai, A. Sasaki, K. Nishimura, E. Papadimitriou, S. (2006b) Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandle in yard stacks. *European Journal of Operational Research* 171 :373–389.
- Imai, A. Sun, X. Nishimura, E. Papadimitriou, S. (2005) Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach. *Transportation Research Part B* 39: 199–221.
- Lee, D-H. Wang, HQ. Miao, L. (2006) Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals. *Transportation Research Part E* 44: 124-135.
- Lim, A. (1998) The berth planning problem. *Operations research letters* 22: 105-110.
- Lim, A. Rodrigues, B. Xiao, F. Zhu, Y. (2004) Crane scheduling with spatial constraints. *Naval Research Logistics* 51: 386–406.
- Liu, J. Wan, Y-w. Wang, L. (2006) Quay crane scheduling at container terminals to minimize the maximum relative tardiness of vessel departures. *Naval Research and Logistics* 53: 60–74.
- Moccia, L. et al (2006) A branch-and-cut algorithm for the quay crane scheduling problem in a container terminal. *Naval Research Logistics* 53: 45–59.
- Ng, WC. Mak, KL. (2006) Quay crane scheduling in container terminals. *Engineering Optimization* 38: 723–737.
- Nishimura, E. Imai, A. Papadimitriou, S. (2001) Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. *European Journal of Operational Research* 131: 282–292.
- Park, Y-M. Kim, KH. (2003) A scheduling method for Berth and Quay cranes. *OR Spectrum* 25: 1–23.
- Peterkofsky, R.I. Daganzo, C.A. (1990) A branch and bound solution method for the crane scheduling problem. *Transportation Research Part B* 24: 159-172.
- Sciomachen, A. Tanfani, E. (2006) A 3D-BPP approach for optimising stowage plans and terminal productivity. *European Journal of Operational Research* 183: 1433-1446.
- Steenken D, Voß S, Stahlbock R (2004). Container terminal operations and operations research - a classification and literature review. *OR Spectrum*, Vol 26, pp. 3–49.
- Steenken D, Voß S. (2008). Operations research at container terminals: a literature update. *OR Spectrum*, Vol 30, pp. 1–52.
- Tavakkoli-Moghaddam et al. (2008) An efficient algorithm for solving a new mathematical model for a quay crane scheduling problem in container ports. *Computers & Industrial Engineering*. doi:10.1016/j.cie.2008.05.011.
- Zhang, H. Kim, K-H. (2008) Maximizing the number of dual-cycle operations of quay cranes in container terminals. *Computers & Industrial Engineering*. doi:10.1016/j.cie.2008.09.008.