
Asignación de Muelles Para los Buques en Terminales Portuarias: Una Revisión de la
Literatura

Sugeybi Ortega Vanegas

Patricia Ortiz Rodriguez

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Industrial
Diplomado en logística de puertos
Sincelejo- Sucre
2017

Asignación de Muelles Para los Buques en Terminales Portuarias: Una Revisión de la
Literatura

Sugeybi Ortega Vanegas

Patricia Ortiz Rodriguez

Artículo de Revisión Presentado como Requisito Final para Cumplir con el Diplomado
En Logística de Puerto para Optar al Título de Ingeniero Industrial

Asesores

Cesar José Vergara Rodríguez

Especialización. Logística Integral. Maestría: Candidato a Magister en Logística Integral

Pablo Cesar Pérez Buelvas

M.Sc. Marketing Magement

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR

Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Industrial

Diplomado en logística de puertos

Sincelejo- Sucre

2017

Nota de Aceptación

Los Estudiantes han aprobado
el trabajo final del Diplomado
en Logística de Puertos con
nota 4.0



Director

Evaluador 1

Evaluador 2

Tabla de contenido

Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción	9
1. Materiales y métodos	11
1.1. Etapa 1	11
1.2. Etapa 2	11
1.3. Etapa 3	11
1.4. Etapa 4.....	11
2. Revisión de la Literatura.....	12
3. Conclusiones	18
Referencias Bibliográficas	19

Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen de estudios sobre el problema de la asignación de muelles.....17

Lista de Figuras

Figura 1. Tamiz de búsqueda de fuentes bibliográficas.....	12
--	----

Resumen

El crecimiento acelerado del transporte marítimo producto de la globalización, las economías de escala, el gigantismo de los buques y la gran competencia que existe hoy día entre las terminales portuarias, obliga a los encargados de la gestión portuaria a optimizar todos los procesos dentro de la terminal con el objetivo de reducir costos para ser más productivos y eficientes; en este contexto el problema de asignación de muelles desempeña un papel relevante en la mejora de la productividad y eficiencias totales de las terminales ya que tiene la finalidad de asignar y programar los buques a sus lugares de arribo dentro del puerto de tal forma que se minimice el tiempo total de operaciones sobre el buque desde el momento de la llegada hasta su salida de sus amarraderos. En este artículo se realizó una revisión de la literatura existente sobre el problema de asignación de atraques en las terminales portuarias para así determinar el objetivo de las diversas metodologías de resolución planteadas por los estudiosos de este tema a través de la historia.

Palabras clave: Puertos, Asignación, Muelle, Buques.

Abstract

The accelerated growth of maritime transport as a result of globalization, economies of scale, the gigantism of vessel and the great competition that exists today among port terminals, forces port managers to optimize all processes within the port. Terminal with the objective of reducing costs to be more productive and efficient; in this context, the problem of berth allocation plays a relevant role in improving the productivity and overall efficiencies of the terminals since it has the purpose of assigning and scheduling the ships to their places of arrival within the port in such a way as to minimize the total time of operations on the vessel from the moment of arrival until its departure from its berths. In this article, a review of the existing literature on the berths allocation problem in the port terminals was carried out, in order to determine the objective of the various resolution methodologies proposed by the scholars of this theme throughout history.

Keywords: Ports, Allocation, Berth, Vessel.

Introducción

En los últimos años, el transporte marítimo se ha venido desarrollando con gran rapidez como un importante canal de comercio internacional. Los volúmenes de carga transportados han venido aumentando significativamente llevando a un incremento en los requisitos de la programación, planificación de operaciones y gestión en los puertos; en la gran mayoría de las terminales portuarias los recursos como lo son el espacio de la litera, cantidades de muelles y equipo de manejo de carga son muy limitados generando un enorme desafío para distinguir y programar diferentes tipos de buques y diferentes variedades de mercancías a cargar o descargar de manera eficiente y productiva (Peng, Zhou, & Li, 2015).

Las terminales portuarias son infraestructuras construidas con el propósito de hacer frente a las necesidades técnicas derivadas del creciente volumen de mercancías transportadas dentro de las redes de transporte mundial (Lalla-Ruiz, Expósito-Izquierdo, Melián-Batista, & Moreno-Vega, 2015). Debido a que los puertos permiten transferir y almacenar carga que se importa o exporta desde una región determinada, por tanto, los encargados de la gestión portuaria en los procesos de programación y planificación de operaciones del terminal deben considerar el tiempo que el buque espera para la disponibilidad de atraque y el tiempo de manejo del buque, ya que estas son las medidas más importantes de efectividad para un puerto, por lo que reducir cada uno de estos tiempos aumenta la productividad y eficiencia del terminal portuario (Emde & Boysen, 2016).

Dado a que el tiempo en que los buques permanecen en puerto es muy costoso, se hace necesario minimizar el tiempo de espera, el tiempo de operación y la desviación de prioridad de los buques, con el objetivo de evitar penalizaciones o sanciones por parte de la navieras; lo que ha llevado a que se centre gran importancia en estudiar el problema de asignación de muelles o atraques en los buques de tal forma en que se logre reducir al mínimo posible el tiempo de estancia del buque en puerto (Pratap, Nayak, Kumar, Cheikhrouhou, & Tiwari, 2017).

Lo antes mencionado conduce a la definición del problema de asignación de muelles (BAP), el cual no es más que la asignación de posiciones de atraque de los buques a lo largo del

muelle de una terminal portuaria que permita reducir el tiempo total de operaciones y espera del buque en puerto, por tanto, esta posición asignada debe de contemplar el volumen de mercancías a cargar o descargar, los recursos con que cuenta el puerto para realizar estas operaciones y el lugar de almacenamiento de la carga dentro de la terminal (Peng et al., 2015).

Además de las consideraciones mencionadas en la asignación de atraque o muelle, los administradores de las terminales portuarias según diversos autores deben de tener en cuenta lo siguiente (Bierwirth & Meisel, 2015; Peng et al., 2015):

- 1) Ventanas de tiempo del buque.
- 2) El volumen de carga a manejar.
- 3) Profundidad del agua en muelle
- 4) Condiciones de las mareas

Dichas características suministran la información a utilizar previamente para poder planificar la asignación del muelle para que así se realice una asignación eficiente que garantice el cumplimiento de las actividades sobre el buque en el mínimo tiempo posible.

A continuación, se realizó una revisión de estudios referentes a la temática abordada y que proponen una solución a dicha problemática; en los casos revisados el objetivo principal de la investigación es asignar posiciones de atraque que reduzcan el tiempo total de estancia del buque en puerto, aumentado las eficiencias y productividades del mismo.

1. Materiales y métodos

La metodología utilizada en el estudio del problema de asignación de muelles o atraques en terminales portuarias revisión de la literatura, consta de las siguientes etapas secuenciales:

1.1 Etapa 1:

Selección del tema a investigar (Problema de asignación de muelles en terminales portuarias).

1.2 Etapa 2:

Revisión bibliográfica de trabajos relacionados con el tema estudiado, para encontrar referentes que hayan propuesto metodologías de resolución a la problemática estudiada.

1.3 Etapa 3:

Análisis de la información y construcción del estado del arte de la investigación.

1.4 Etapa 4:

Determinar la importancia del tema estudiado y establecer las conclusiones sobre los objetivos de los diferentes estudios trabajados que proponen una solución a la problemática tratada.

En la obtención de las referencias bibliográficas, se utilizó el siguiente tamiz de búsqueda (Ver figura 1).

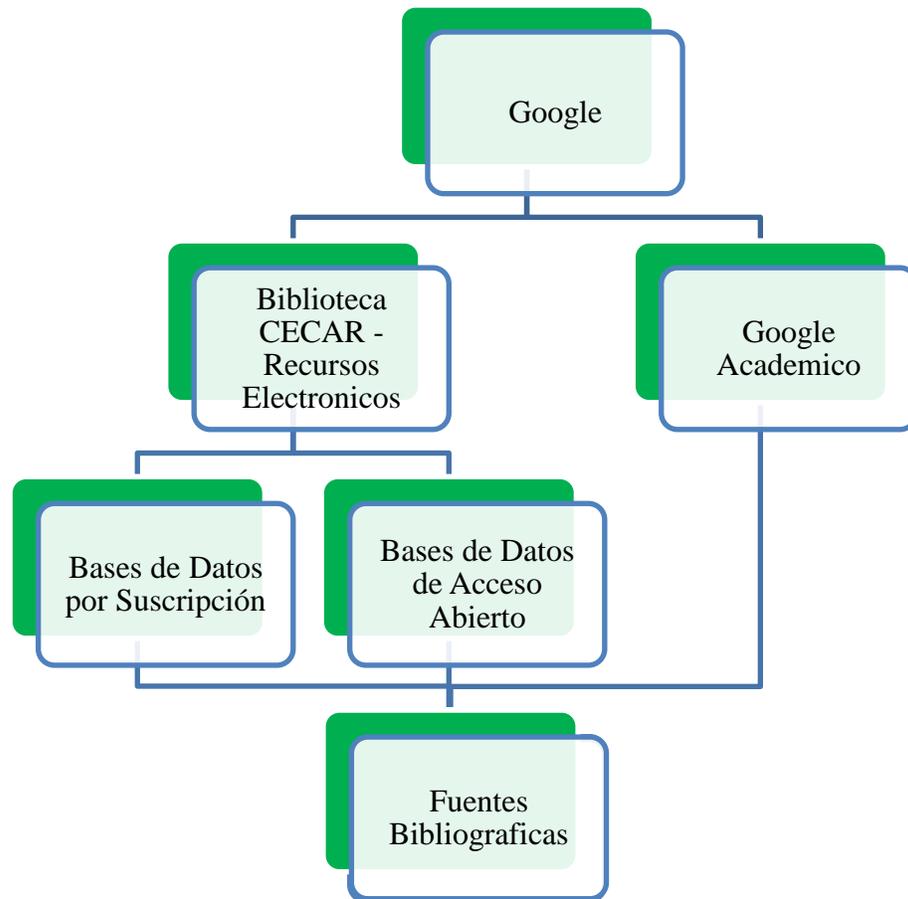


Figura 1. Tamiz de búsqueda de fuentes bibliográficas. Fuentes: (Elaboración propia)

2. Revisión de la Literatura

Con el pasar de los años han ocurrido diversos acontecimientos que han acelerado de forma drástica el desarrollo y evolución de los puertos (Pratap et al., 2017). Dentro de estos hechos encontramos la aparición del contenedor, el crecimiento de la economía en sus diferentes mercados, el gigantismo de los buques, los avances tecnológicos, los acuerdos comerciales, etc. Lo que ha generado que cada vez las terminales portuarias sean más competitivas y aumenten su rendimiento para así reducir los tiempos de operaciones sobre los buques, costos de

manipulación de la carga, costos de los fletes e incremento del flujo de mercancías (Arango, Cortes, Ruiz, & Navascues, 2012).

El aviso de arribo de un buque a un terminal portuario ocasiona que los gestores de las operaciones portuarias den respuesta a tres importantes problemas antes de atenderlo, estas son las siguientes: asignación de muelle, planificación de la estiba en buque y programación grúas o equipos de cargue y descargue de mercancías. Estos problemas mencionados tienen un objetivo en común el cual es minimizar el tiempo hasta el mínimo de permanencia de los buques en puertos, este tiempo es el compuesto por los de espera y operaciones, con esto se permite mejorar eficiencia y productividades en las terminales (Ganji, Babazadeh, & Arabshahi, 2010; Barros, Costa, Oliveira, & Lorena, 2011; Bierwirth & Meisel, 2015).

Cuando los buques llegan a los puertos se deben tener en cuenta ciertas características tales como el tamaño, el volumen de mercancía o contenedores a descargar y el lugar destinado almacenar la mercancía dentro del puerto (Han, Gong, & Jo, 2015; He, 2016); esto permite de ante mano saber cierta información para planificar la asignación respectiva de los muelles a cada buque. Además de esto también se deben tener en cuenta situaciones como:

- Localización del atraque o muelle a asignar teniendo en cuenta el lugar destinado en la zona de almacenaje que quede más cerca al punto de operaciones sobre el buque para reducir los tiempos.
- Programar el tiempo total en que le buque estará atracado en su respectivo muelle y sincronizarlo con el tiempo de los demás buques que arribaran al puerto.

Diversos autores han realizados adaptaciones a la problemática de asignación de muelles y han propuesto muchas metodologías de resolución, como lo es el caso de (Barros et al., 2011) que a través de un algoritmo genético buscaron el uso óptimo de las literas con el propósito de aumentar la eficiencia del puerto. (Barros et al., 2011) consideraron este problema para un puerto a granel, en donde para asignar un puesto de atraque específico tuvieron en cuenta las mareas en puerto, profundidad en muelle y cantidad de equipos para cargar y descargar el buque; estos a través de un modelo de programación lineal entero dan solución al problema, en el cual para

designar el muelle y la secuencia de buques a tender también dependerá del nivel de stock del buque y planificar la forma de asignación de tal forma que se reduzca la sobre-estadía total dentro de los horizontes de planificación establecido permitiendo que las soluciones arrojadas por el modelo satisfagan las restricciones establecidas y sean factibles para el caso estudiado.

(Umang, Bierlaire, & Vacca, 2013) estudiaron el problema de asignación de muelle en un puerto a granel a través de una metodología híbrida con el propósito de minimizar el tiempo de servicio en los buques, estos utilizaron dos métodos exactos la programación entera mixta basándose en la partición generalizada de conjuntos y una heurística para optimizar el proceso considerando el tipo de carga transportada en el buque; los resultados obtenidos en este estudio indican que con el híbrido entre estas dos metodologías permite alcanzar resultados casi óptimos. Por otra parte, (Robenek, Umang, Bierlaire, & Ropke, 2014) en su estudio tenían el mismo objetivo que los autores anteriores reducir al mínimo posible el tiempo total de servicio de los buques que atracan en el puerto, para dar solución al problema utilizaron una programación entera mixta bajo el enfoque de partición de conjunto, pero el modelo se encuentra limitado para casos en que los buques contemplados dentro del estudio computacional superan las 40 unidades.

La asignación de atraque es considerada como un problema NP- Duro (difícil de resolver) debido a la gran cantidad de variables a considerar en la resolución del mismo, por lo que (Ting, Wu, & Chou, 2014) proponen un modelo entero mixto ya que los enfoques de soluciones exactas no pueden resolver las instancias de tamaño realista en forma óptima en un tiempo razonable, con esta metodología optimizan este problema considerado uno de los principales en el mejoramiento de eficiencia y productividades de las terminales portuarias, porque permite asignar a posiciones de atraque discretas a los buques y minimiza el tiempo de espera total y de manejo de todos estos. Los trabajos de (Frojan, Correcher, Alvarez-Valdes, Koulouris, & Tamarit, 2015) y (Han et al., 2015) abordaron la problemática de asignación de muelles, en el primer estudio desarrollaron un modelo lineal entero y luego un algoritmo genético que trabaja sobre secuencias de buques que son decodificados por un algoritmo constructivo, mostrando que este enfoque arroja soluciones más eficientes que los demás propuestos en la literatura. En el segundo caso, producto de la preocupación por el incremento en los volúmenes de carga transportado y mejoras de las eficiencias operativas dentro de la terminal portuaria integra el

problema de asignación de muelles con la programación de grúas pórtico, lo que permitió que estableciera una asignación continua de amarraderos, en la cual se consideran no sólo las restricciones comunes del muelle sino también el área de cobertura de la grúa pórtico; la solución se obtuvo mediante la aplicación de un algoritmo de optimización de enjambre de partículas.

(Hu, 2015a) en su estudio contemplan la preferencia de los trabajadores en realizar sus trabajos en los puertos en horas diurnas ya que con esto mejorar el confort de trabajo, la seguridad, ahorro de energía, etc. Pero sin lugar a duda esto disminuye el rendimiento y la eficiencia operacional total del puerto. Los autores formulan un algoritmo genético bi-objetivo de tal manera en que pueden estudiar la asignación de muelles contemplado esta restricción de trabajo diurno y que a su vez no se tenga cargas de trabajo retrasados; la solución al problema muestra que se mejoran significativamente el confort de los trabajadores y hay un ahorro en costos por el consumo de energía y recargo de trabajadores, pero indiscutiblemente se reduce la eficiencia del terminal, y producto del aumento del volumen de carga se hace necesario que el puerto siempre sea productivo, llevan a la gerencia a tomar decisiones de seguir con los modelos tradicionales o dar aplicabilidad a la metodología propuesta. Por otro lado, (Hu, 2015b) investigo el problema de asignación de atraque teniendo en cuenta consideraciones sobre la utilización periódica en forma equilibrada de la grúas de muelle en las terminales de contenedores; y con la aplicación de una heurística de horizonte rodante le dan solución a la asignación de tal forma que permitió mejorar el rendimiento total del puerto.

Los problemas sobre la operativa de los buques en las terminales portuarias se encuentra fuertemente interconectados, lo que llevo a que (Iris, Pacino, Ropke, & Larsen, 2015) estudiaron el problema de asignación de muelles junto con la programación de grúas de muelles. Esta integración de esta dos problemáticas la abordaron con el desarrollo de un nuevo modelo de partición de conjuntos, en el cual los resultados de los experimentos computacionales realizados muestran que se mejoran significativamente las soluciones en comparación con los enfoques actuales del estado de la técnica. (Lalla-Ruiz et al., 2015) abordan el problema de asignación de atracadero bajo limitaciones dependientes del tiempo, es decir, considerando las ventanas de tiempo de atraque y las del mismo buque; en este trabajo se propuso una formulación matemática basada en el problema de partición generalizada, que considera un horizonte de planificación de

varios periodos e incluye restricciones relacionadas con las ventanas de tiempo de atraque y de buque, para así evitar las dificultades de asignación de muelles en mareas altas y bajas.

Los estudios realizados por (Yan, Lu, Hsieh, & Lin, 2015) y (Zhen, 2015) dan solución al problema de asignación de atraques o muelles, en el primer estudio encontramos que desarrollaron un nuevo modelo para el problema utilizando un enfoque de modelado de red de atraque-flujo, es decir, posición asignada de acuerdo al volumen de carga a descargar, esto con la finalidad de utilizar mejor el espacio de muelle en un puerto ya que este es un recurso muy limitado y determina el número de buques que se pueden atender en un tiempo específico. En el segundo caso se estudia el problema pero en forma táctica, es decir, hace referencia a la asignación de posiciones favoritas de atraque de los buques que arriban periódicamente a la terminal. Con la utilización de este método, se genera una incertidumbre, principalmente con los contenedores que serán cargados y descargados en cada buque, lo que conduce a que se tengan incertidumbres significativas sobre el tiempo de operación (permanencia) de los buques, llevando a generar complicaciones en los procesos de asignación de muelles.

En las terminales portuarias, principalmente aquellas especializadas o que manejan carga contenedorizada, el estudio integrado del problema de asignación de atraques y asignación de grúas de muelle ha atraído mucha atención en la literatura, porque esta permiten minimizar el retraso total de salida de todos los buques y el consumo total de energía de manejo de todos los buques por las grúas pórticos (He, 2016; Hsu, 2016; Karam & Eltawil, 2016; Liu, Zheng, & Zhang, 2016). Los estudios de este tipo se han abordado desde diferentes metodologías por ejemplo (He, 2016; Liu et al., 2016) formularon un modelo de programación de enteros mixtos (MIP), para lograr optimizar los recursos de la terminal portuaria. Mientras que (Hsu, 2016; Karam & Eltawil, 2016) diseñaron algoritmos genéticos para solucionar la integración de estos dos problemas esenciales de planificación de operaciones costeras que enfrentan los gestores de las terminales portuarias al momento de optimizar los recursos con lo que cuentan y los limitan.

A continuación, en la tabla 1 se realiza un resumen sobre algunas referencias en la gestión de muelles encontradas en la literatura y que tiene por objetivo minimizar el tiempo de servicio de un buque en la terminal portuaria.

*Tabla 1**Resumen de estudios sobre el problema de la asignación de muelles*

INVESTIGACIÓN	AUTOR	OBJETIVO
Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms	(Nishimura, Imai, & Apadimitriou, 2001)	Minimizar el tiempo total de operaciones con la formulación de heurísticas y algoritmo genético
A scheduling method for Berth and Quay cranes	(Park & Kim, 2003)	Minimizar costos con la asignación eficiente de los recursos de la terminal portuaria
A Set-Partitioning-based model for the Berth Allocation Problem under Time-Dependent Limitations	(Lalla-Ruiz, Expósito-Izquierdo, Melián-Batista, & Moreno-Vega, 2016)	Minimizar costos en la terminal con la formulación de una meta-heurística par así obtener soluciones de calidad.
Berth allocation in an ore terminal with demurrage, despatch and maintenance	(Ribeiro, Mauri, Beluco, Lorena, & Laporte, 2016)	Formulación del problema a través de programación entera mixta para reducir el tiempo total de estancia del buque en puerto.
Effect of entrance channel dimensions on berth occupancy of container terminals	(Tang et al., 2016)	Con procesos de simulación evalúan el efecto de las dimensiones del canal de entrada del canal que comunica al puerto sobre la ocupación del muelle.
Optimal berth allocation, time-variant quay crane assignment and scheduling with crane setups in container terminals	(Türkoğulları, Taşkın, Aras, & Altinel, 2016)	Con programación entera mixta minimizan el tiempo de operaciones sobre el buque al considerar los horarios de disponibilidad de las grúas de muelle.
An integrated decision support system for berth and ship unloader allocation in bulk material handling port	(Pratap et al., 2017)	Minimizar el tiempo de espera y operación sobre el buque.

Fuente: (Elaboración propia.)

3. Conclusiones

Dentro de las operaciones portuarias, la asignación de muelle es una de las más cruciales, debido a que los muelles son un recurso escaso y crítico que determina la capacidad de atender buques de una terminal portuaria. De aquí a que los autores centren sus esfuerzos en proponer metodologías de resolución de esta problemática porque construir muelles es la inversión más costosa a los que se ven obligados a realizar los puertos, lo que conduce a que se planifiquen los procesos de asignación atraques, para así optimizar la utilización de este recurso (muelles) aumentando las eficiencias y productividades del puerto.

Con la revisión de la literatura sobre el problema de asignación de muelles o atraques en las terminales portuarias, se evidencia que el objetivo principal de solucionar esta problemática según diversos autores es reducir el tiempo de permanencia del buque en puerto, para así minimizar los costos en las operaciones realizadas sobre el buque y poder atender la mayor cantidad de estos durante un horizonte de tiempo planificado o establecido. Por tanto, la gestión eficiente de las terminales portuaria, y más de sus recursos críticos como lo son los muelles y equipos de manejo de carga permiten evitar cuellos de botella en cada uno de los diferentes procesos realizados sobre el buque, minimizando así los tiempos de operación y espera de los buques en el muelle hasta mínimo posible.

Referencias Bibliográficas

- Arango, C., Cortes, P., Ruiz, P., & Navascues, J. (2012). Operativa de transferencia en las terminales de contenedores portuarias : estado del arte. *6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XVI Congreso de Ingeniería de Organización*, (2004), 781–788.
- Barros, V. H., Costa, T. S., Oliveira, A. C. M., & Lorena, L. A. N. (2011). Model and heuristic for berth allocation in tidal bulk ports with stock level constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 60(4), 606–613. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.12.018>
- Bierwirth, C., & Meisel, F. (2015). A follow-up survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 244(3), 675–689. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.030>
- Emde, S., & Boysen, N. (2016). Berth allocation in container terminals that service feeder ships and deep-sea vessels. *The Journal of the Operational Research Society; Basingstoke*, 67(4), 551–563.
- Frojan, P., Correcher, J. F., Alvarez-Valdes, R., Koulouris, G., & Tamarit, J. M. (2015). The continuous Berth Allocation Problem in a container terminal with multiple quays. *Expert Systems with Applications*, 42(21), 7356–7366. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.05.018>
- Ganji, S. R. S., Babazadeh, A., & Arabshahi, N. (2010). Analysis of the continuous berth allocation problem in container ports using a genetic algorithm. *Journal of Marine Science and Technology*, 15(4), 408–416. <https://doi.org/10.1007/s00773-010-0095-9>
- Han, X., Gong, X., & Jo, J. (2015). A new continuous berth allocation and quay crane assignment model in container terminal. *Computers & Industrial Engineering*, 89, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.04.033>
- He, J. (2016). Berth allocation and quay crane assignment in a container terminal for the trade-off between time-saving and energy-saving. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 390–

405. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.04.006>

- Hsu, H.-P. (2016). A HPSO for solving dynamic and discrete berth allocation problem and dynamic quay crane assignment problem simultaneously. *Swarm and Evolutionary Computation*, 27, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2015.11.002>
- Hu, Z.-H. (2015a). Heuristics for solving continuous berth allocation problem considering periodic balancing utilization of cranes. *Computers & Industrial Engineering*, 85, 216–226. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.03.017>
- Hu, Z.-H. (2015b). Multi-objective genetic algorithm for berth allocation problem considering daytime preference. *Computers & Industrial Engineering*, 89, 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.04.035>
- Iris, Ç., Pacino, D., Ropke, S., & Larsen, A. (2015). Integrated Berth Allocation and Quay Crane Assignment Problem: Set partitioning models and computational results. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 75–97. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.008>
- Karam, A., & Eltawil, A. B. (2016). Functional integration approach for the berth allocation, quay crane assignment and specific quay crane assignment problems. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.04.006>
- Lalla-Ruiz, E., Expósito-Izquierdo, C., Melián-Batista, B., & Moreno-Vega, J. M. (2015). Decentralized cooperative metaheuristic for the dynamic berth allocation problem. *Inteligencia Artificial*, 18(55), 1–11. <https://doi.org/10.4114/ia.v18i55.1097>
- Lalla-Ruiz, E., Expósito-Izquierdo, C., Melián-Batista, B., & Moreno-Vega, J. M. (2016). A Set-Partitioning-based model for the Berth Allocation Problem under Time-Dependent Limitations. *European Journal of Operational Research*, 250(3), 1001–1012. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.10.021>
- Liu, C., Zheng, L., & Zhang, C. (2016). Behavior perception-based disruption models for berth allocation and quay crane assignment problems. *Computers & Industrial Engineering*, 97,

258–275. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.04.008>

Nishimura, E., Imai, A., & Apadimitriou, 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, K. (2003). A scheduling method for Berth and Quay cranes. *OR Spectrum*, *25*, 1–23.

Peng, J., Zhou, Z., & Li, R. (2015). A Collaborative Berth Allocation Problem with Multiple Ports Based on Genetic Algorithm. *Journal of Coastal Research; Fort Lauderdale*, (73), 290–297.

Pratap, S., Nayak, A., Kumar, A., Cheikhrouhou, N., & Tiwari, M. K. (2017). An integrated decision support system for berth and ship unloader allocation in bulk material handling port. *Computers & Industrial Engineering*, *106*, 386–399.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.009>

Ribeiro, G. M., Mauri, G. R., Beluco, S. de C., Lorena, L. A. N., & Laporte, G. (2016). Berth allocation in an ore terminal with demurrage, despatch and maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, *96*, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.03.005>

Robenek, T., Umang, N., Bierlaire, M., & Ropke, S. (2014). A branch-and-price algorithm to solve the integrated berth allocation and yard assignment problem in bulk ports. *European Journal of Operational Research*, *235*(2), 399–411.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.08.015>

Tang, G., Wang, W., Song, X., Guo, Z., Yu, X., & Qiao, F. (2016). Effect of entrance channel dimensions on berth occupancy of container terminals. *Ocean Engineering*, *117*, 174–187.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.03.047>

Ting, C.-J., Wu, K.-C., & Chou, H. (2014). Particle swarm optimization algorithm for the berth allocation problem. *Expert Systems with Applications*, *41*(4), 1543–1550.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.051>

Türkoğulları, Y. B., Taşkın, Z. C., Aras, N., & Altinel, İ. K. (2016). Optimal berth allocation,

time-variant quay crane assignment and scheduling with crane setups in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 254(3), 985–1001.

<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.04.022>

Umang, N., Bierlaire, M., & Vacca, I. (2013). Exact and heuristic methods to solve the berth allocation problem in bulk ports. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 54, 14–31. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.03.003>

Yan, S., Lu, C.-C., Hsieh, J.-H., & Lin, H.-C. (2015). A network flow model for the dynamic and flexible berth allocation problem. *Computers & Industrial Engineering*, 81, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.12.028>

Zhen, L. (2015). Tactical berth allocation under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 247(3), 928–944. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.079>