

Problema de la Asignación de Grúas Pórtico en la Operación de Cargue y Descargue de
Contenedores en Terminales Portuarias: Revisión de Literatura

Gabriel Eduardo Ríos Guzmán

Luis Herazo Bonilla

Corporación Universitaria Del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Industrial
Diplomado Logística de Puertos
Sincelejo – Sucre
2017

Problema de la Asignación de Grúas Pórtico en la Operación de Cargue y Descargue de
Contenedores en Terminales Portuarias: Revisión de Literatura

Gabriel Eduardo Ríos Guzmán
Luis Herazo Bonilla

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

Director
Cesar José Vergara Rodríguez
Ingeniero Industrial

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 sustentado
satisfactoriamente el proyecto
Final de Diplomado en logística
de Puerto con nota 3.8



Director

Evaluador 1

Evaluador 2

Sincelejo, Sucre, 18, de Mayo de 2017

Tabla de contenido

Resumen.....	5
Abstract.....	6
Introducción	7
1. Método	10
2. Estado del Arte (Revisión de la Literatura)	12
3. Conclusión	21
Referencias Bibliográficas.....	22

Resumen

La globalización de los mercados que se ha presentado en los últimos años, ha generado un aumento del tráfico de buques a nivel internacional, convirtiendo a los puertos en nodos fundamentales dentro de la red de transporte internacional, y es que gracias a estos (su infraestructura, maquinaria y equipos), se facilita el proceso de intercambio comercial con la entrada y salida de mercancías en forma eficiente de un país a otro. Las terminales portuarias que manejan carga contenedorizada son un eslabón fundamental dentro de esta red de transporte internacional, razón por la cual, las operaciones que se realizan dentro de esta terminal se deben optimizar buscando siempre con ello una relación beneficiosa entre la productividad y eficiencia del puerto.

En cada una de estas operaciones portuarias encontramos diversidad de problemáticas, las cuales generan que no se logren alcanzar los niveles deseados de eficiencia y productividad dentro de las terminales portuarias, encontrando que los puertos que manejan contenedores sufren principalmente un problema en la asignación de grúas pórtico, en donde se requiere la reducción de los costos y minimización del tiempo total de cargue-descargue de buques portacontenedores, para así garantizar que los buques disminuirán el tiempo de atraque en el muelle mejorando la eficiencia y productividad de la terminal portuaria.

Este artículo tiene la finalidad de realizar una revisión bibliográfica del problema de asignación de grúas pórtico en operaciones de cargue y descargue de buques portacontenedores, para determinar cuáles han sido los procedimientos más utilizados anteriormente en la resolución de esta problemática.

Palabras clave: Terminal portuaria, Grúa pórtico, asignación.

Abstract

The globalization of the markets that has occurred in recent years has generated an increase in international ship traffic, turning ports into fundamental nodes within the international transport network. (Its infrastructure, machinery and equipment), facilitates the process of trade with the entry and exit of goods efficiently from one country to another. The port terminals that handled the containerized cargo were a fundamental link within this international transport network, the reason why the operations, that are carried out within this terminal are weakened always looking for a beneficial relationship between the productivity and the efficiency of the port.

In each of these port operations, we find a diversity of problems which generate that the desired levels of efficiency and productivity can't be reached within the port terminals, finding that the ports that handle containers suffer mainly a quay crane assignment problem, in which cost reduction and minimization of the total time of loading-unloading of container ships are required to ensure that ships will reduce docking time at the dock by improving the efficiency and productivity of the port terminal.

This article aims to perform a bibliographic review of the quay crane assignment problem in loading and unloading operations of container ships, in order to determine which procedures have been used previously in solving this problem.

Keys words: Port terminal, quay crane, assignment.

Introducción

El creciente proceso de globalización que se está viviendo en la última década, ha convertido al transporte de mercancías en un pilar fundamental en el desarrollo económico de los países. Y es que en la actualidad las grandes redes de transporte conectan todo el mundo eliminando las barreras geográficas entre los centros de producción y consumo. En este proceso de intercambio comercial aparecen las terminales portuarias de contenedores como nodos de gran importancia dentro de la red de transporte mundial, producto del aumento del movimiento de carga contenedorizada (ver figura 1). Todo esto ha generado un mayor desarrollo económico y tecnológico en los puertos para mejorar sus eficiencias y productividades (Cuberos Gallardo, 2015).

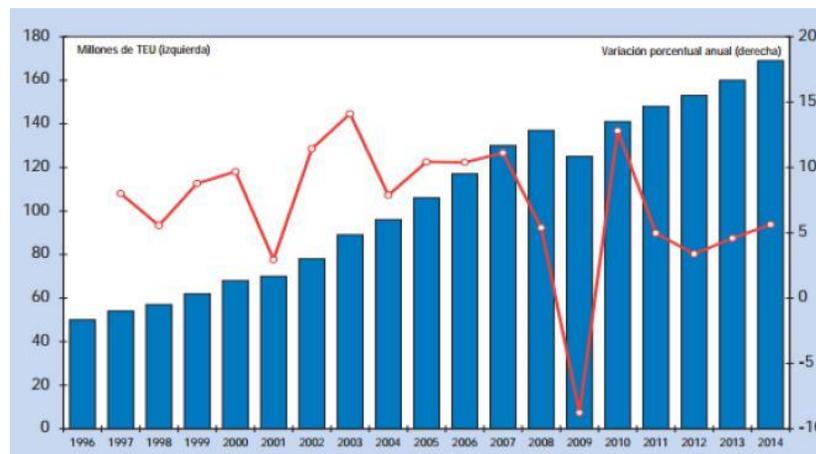


Figura 1. Aumento del transporte de carga contenedorizada
 Fuente: Cuberos Gallardo, (2015)

Con el crecimiento del tráfico de contenedores a nivel mundial, se ha visto la necesidad de crear modelos de gestión u optimización de todas las operaciones y recursos de los puertos para mejorar las eficiencias y diferentes problemáticas de estos (Diabat & Theodorou, 2014). Las terminales portuarias que manejan carga contenedorizada presentan una problemática y es que se encuentran limitadas por el tiempo que los buques permanecen atracados en la terminal, esto

reduce la eficiencia del puerto y hace al mismo tiempo que se pierda atractividad por parte de las navieras (Expósito-Izquierdo, González-Velarde, Melián-Batista, & Marcos Moreno-Vega, 2014). Como solución a este problema aparece la asignación de grúas pórtico, las cuales se encargan de cargar y descargar los grandes buques portacontenedores (ver figura 2), por tanto, se emplean varias grúas simultáneamente para así disminuir los tiempos de operación sobre los buques atracados en muelle (Al-Dhaheri, Jebali, & Diabat, 2016b).



Figura 2. Grúas pórtico
Fuente: Cuberos Gallardo, (2015)

Las grúas pórtico son recursos valiosos para los puertos de contenedores, ya que la eficiencia en las operaciones realizadas por esta, determina de una u otra manera la productividad del puerto. El problema de asignar las grúas pórtico, consiste en establecer una secuencia de actividades a realizar por parte de un conjunto de grúas en un buque portacontenedores, con la finalidad de reducir el tiempo hasta alcanzar el menor posible en finalizar las actividades de manejo de contenedores (cargue y descargue) y a su vez minimizar los costos asociados a este proceso (Porto, 2014).

Diversos autores han centrado sus esfuerzos en darle solución a esta problemática, a través del desarrollo y formulaciones de diversas asignaciones de grúas pórticos con el objetivo de encontrar una secuencia óptima en las operaciones de cargar y descargar de contenedores en los buques, de forma en que un conjunto de grúas realice esta actividad y así reducir el tiempo de

operación al mínimo posible (Al-Dhaheri & Diabat, 2015). Para resolver el problema de asignación de grúas pórticos, se hace necesario contar en forma previa con la siguiente información: 1) Cantidad de grúas que atenderán a los buques portacontenedores en la operación de cargar y descargar (número de grúas), 2) tiempo en que cada grúa estará asignada a un buque respectivamente, 3) secuenciación de las actividades a realizar por las grúas (cargar o descargar) y por ultimo como serán distribuidas el conjunto de grúas a lo largo del buque portacontenedores (Arango, Cortes, Ruiz, & Navascues, 2012).

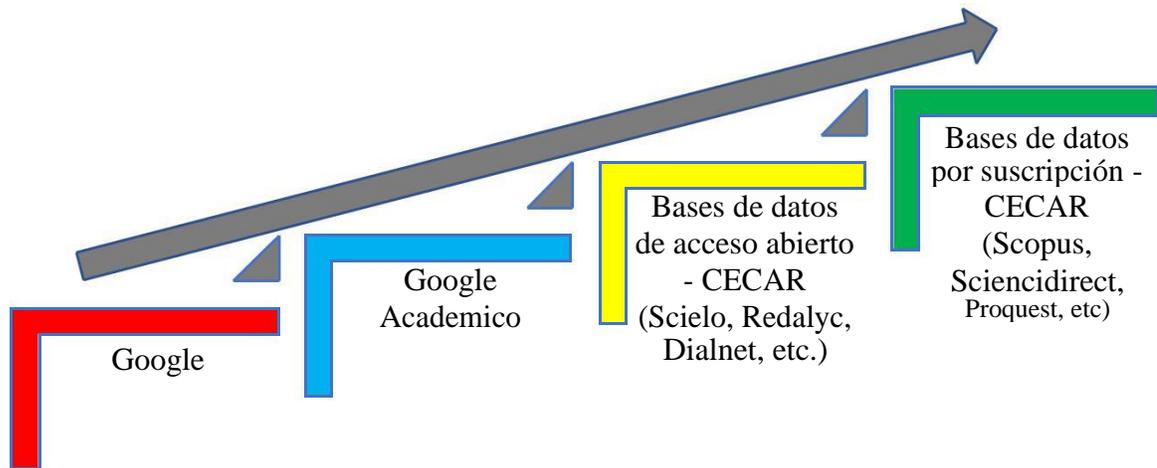
A continuación, se encontrarán estudios que abordan la temática del problema de la asignación de grúas pórticos, y proponen una solución a esta; en la mayoría de los casos revisados se busca la minimización del tiempo total de cargue y descarga de buques portacontenedores.

1. Método

En este estudio sobre el problema de la asignación de grúas pórtico en la operación de cargue y descargue de contenedores en terminales portuarias: revisión de literatura, se realizó una revisión bibliográfica con trabajos relacionados con la problemática abordada y la forma en que las diversas metodologías de resolución propuestas por los autores mejoran las eficiencia y productividades de los puertos. Esta etapa del estudio, se realizó en cuatro (4) fases:

- 1) **Fase 1:** Se diseña el estudio, es decir, se seleccionó la temática a trabajar en la investigación, en este caso, problema de la asignación de grúas pórtico en la operación de cargue y descargue de contenedores en terminales portuarias.
- 2) **Fase 2:** Se hace la revisión bibliográfica o de literatura para encontrar referentes que hayan aportado una metodología de solución a la problemática abordada.
- 3) **Fase 3:** Se realiza un análisis sobre las metodologías propuestas y se determinan cuáles son las que mayor enfoque han tenido a través de los tiempos, además se establecen cuáles fueron los objetivos o impactos de los diferentes estudios encontrados.
- 4) **Fase 4:** Se establecen las conclusiones sobre la investigación y la importancia de solucionar el problema abordado.

Para obtener las referencias bibliográficas que soportan el estudio, se siguió la siguiente ruta de investigación (Ver figura 3).



*Figura 3.*Ruta de investigación de referentes bibliográficos
Fuente: Elaboración propia

A continuación se realizó un análisis de las investigaciones encontradas dando a conocer los diferentes enfoques expuestos por cada autor, y así obtener una revisión de la literatura o bibliográfica en función de la problemática estudiada.

2. Estado del Arte (Revisión de la Literatura)

Actualmente en la literatura encontramos diversas investigaciones sobre la problemática de asignación de grúas pórtico; los primeros estudios encontrados en esta materia aparecen a comienzos de los años 90 con Peterkofsky y Daganzo, (1990) que propusieron un método de ramificación y solución enlazada para el problema de programación o asignación de la grúa pórtico, buscando con esto reducir los tiempos de operación de la grúa. Con el pasar de los años esta problemática ha adquirido mucha importancia producto del gigantismo de los buques, las economías de escala, el crecimiento de los diferentes mercados de la economía principalmente la industria marítima y la globalización en la cual nuestra sociedad está inmersa (Al-Dhaheri & Diabat, 2015).

Todo esto ha sido la motivación que existe en estos días por diseñar o desarrollar una formulación sencilla y novedosa para abordar el problema de la asignación o programación de la grúa pórtico. El propósito de este problema es determinar las secuencias de las operaciones (carga – descarga) a realizar por un conjunto de grúas pórtico en forma que se minimice o reduzca el tiempo total de estas operaciones, para esto Al-Dhaheri y Diabat, (2015) proponen abordar esta problemática a través de la formulación de un modelo entero mixto, el cual brinda una solución extremadamente eficiente al problema, pero se debe utilizar esencialmente solo para pequeñas cantidades de contenedores a cargar o descargar. También encontramos que Al-Dhaheri, Jebali, y Diabat, (2016a) proponen minimizar el tiempo de manipulación de contenedores en los buques, considerando no solo la descarga de contenedores sino además la transferencia de contenedores que se presenta en el muelle y el astillero, para esto los autores elaboraron un modelo de enteros mixtos de programación del tipo estocásticos y junto a este aplicaron un Algoritmo Genético (GA) basado en simulación, con el cual construyeron esquemas de control en los buques mostrando la dinámica e incertidumbre inherente al proceso de manejar contenedores.

El problema de la asignación de la grúa pórtico, busca minimizar el tiempo total de operación del buque intentando incrementar el rendimiento de la terminal de contenedores. Lo

anterior ha sido la tendencia en que los autores han centrado sus esfuerzos en formular o crear método y modelos para abordar esta problemática, pero Al-Dhaheiri et al., (2016b) han incorporado características más realistas de esta problemática como lo son la estabilidad del buque, tiempos de viaje de las grúas, modo unidireccional de la grúa, modo de operación de las tareas, etc. Lo cual obligó a los autores, para poder abordar esta complejidad de problema, elaborar un algoritmo genético el cual integrara todas estas limitaciones y así obtener datos más reales; se debe destacar que el modelo propuesto les da resolución a problemas de pequeños tamaños o volúmenes de carga.

Con el crecimiento marítimo acelerado del transporte de contenedores, surge la necesidad de que las operaciones realizadas en las terminales portuarias sean cada vez más eficientes y productivas, en donde sin lugar a dudas uno de los determinantes más importantes de dichas eficiencias es la grúa pórtico, debido a que es el recurso encargado de la manipulación de los contenedores, por esto, Diabat y Theodorou, (2014) hicieron una integración de la asignación con la programación de las grúas pórtico, para esto utilizaron un algoritmo genético el cual fue comparado con los resultados arrojados por una técnica exacta, se debe resaltar que los autores formulan el modelo teniendo en cuenta las condiciones de posicionamiento de las grúas. A diferencia de otros estudios en los cuales se buscan construir algoritmos sofisticados, Jiang Hang Chen, Lee, y Goh, (2014) proponen una formulación matemática que aborda el problema de la asignación de las grúas pórtico agrupándolas en clúster lo que las obliga a moverse unidireccionalmente durante la programación, los resultados de este estudio demuestran que la solución es más eficiente que los algoritmos creados para abordar el problema de programación grúa unidireccional basado en clústeres.

Las decisiones que se han tomado sobre el problema de la asignación de las grúas pórtico y la programación de las mismas se han realizado de forma independiente, sin embargo, las eficiencias dentro de las terminales portuarias se maximiza cuando se aborda la problemática en forma conjunta por la interrelación que existe entre estas, por lo anterior Fu y Diabat, (2015) plantean un modelo matemático incorporando consideraciones prácticas como lo es la interferencia de las grúas pórtico, para esto aplican la relajación lagrangiana con la cual le dan una

solución óptima y factible al problema. Por otro lado, Fu, Diabat, y Tsai, (2014) plantean un algoritmo genético respectivamente, agregando consideraciones de seguridad de la grúa, condiciones de orden y prioridades de los buques, además de esto el algoritmo permite que cada vez que una grúa termine la tarea pueda desplazarse a otro buque que se encuentre atracado en muelle. El problema integrado se vuelve difícil de resolver con técnicas de métodos exactos debido a su complejidad en la formulación y las variables contempladas, por consiguiente, se utiliza el algoritmo genético y computacionalmente validan los resultados de la propuesta.

Con el aumento de los volúmenes de producción de las terminales portuarias que manejan carga contenedorizada, han surgido grandes preocupaciones con relación a las eficiencias y eficacias operativas de los puertos. Producto de esto Han, Gong, y Jo, (2015) proponen un modelo de dos fases para asignación de atraque y grúas pórtico. En la primera etapa, con relación al tiempo y espacio entre buques, establecen un nuevo modelo de asignación en forma continua de amarraderos en el cual no sólo considera las restricciones comunes, sino que además incluyen el área de cobertura de la grúa de muelle. En la segunda etapa, que es la fase de asignación de grúas pórtico, diseñan un modelo de programación multi-objetivo, en donde buscan minimizar la gama de grúas utilizadas (máximas y mínimas) para el ahorro de recursos y del mismo modo pretenden minimizar los movimientos de las grúas de muelle con la finalidad de mejorar la eficiencia. Todo esto fue desarrollado a través de un algoritmo de optimización de enjambre de partículas y los resultados alcanzados tras la aplicación muestran mejoras en las operaciones esenciales en la terminal de contenedores.

Con la finalidad de minimizar el retraso total en la salida de todos los buques portacontenedores y su consumo total de energía producto del manejo de todos estos, He, (2016) formuló un modelo de programación de enteros mixtos (MIP) desarrollando una metodología integrada entre simulación y optimización, en donde con ayuda de la simulación evalúan el problema y con la optimización logran alcanzar el espacio o área de solución para el problema de asignación integrada de muelles y grúas pórtico. También encontramos que Hsu, (2016) abordó dos problemas esenciales en la planificación de operaciones costeras en una terminal de contenedores, estos son la asignación de amarraderos y asignación de grúas pórtico; este autor

plantea una heurística basada en eventos, con la cual permite que el número de grúas que es asignado a un buque puede ser cambiado a medida que transcurre la operación de carga, a diferencia de otras investigaciones que formulan algoritmos genéticos para abordar la asignación de grúas pórtico pero en forma invariable.

La gran mayoría de los problemas operativos en la terminales portuarias que manejan contenedores están fuertemente interconectados, razón que llevo a Iris, Pacino, Ropke, y Larsen, (2015) a estudiar el problema de asignación de grúas pórtico a través de un modelo de partición de conjuntos en donde proponen técnicas de reducción variable para así analizar los efectos de una política de asignación de grúas en tiempo variante e invariante; los resultados del modelo muestran mejoras significativas con relación a otros enfoques óptimos planteados para este problema. Por otro lado, Luo, Wu, y Mendes, (2016) trabajaron el problema de asignación de grúas pórtico integrándolas con la programación eficiente y eficaz de vehículos y los lugares destinados para el almacenamiento. Para esto, los autores utilizaron la programación entera mixta en un algoritmo genético para minimizar el tiempo de operaciones realizada en el buque, así como el tiempo de atraque del mismo, para esta programación tuvieron en cuenta los horarios de trabajo en forma detallada de los vehículos y el lugar específico asignado para el almacenamiento del contenedor.

Gestionar eficientemente los puertos es una actividad compleja, debido a la cantidad de recursos a optimizar dentro de las operaciones realizadas en los puertos, por tanto Shang, Cao, y Ren, (2016) investigaron el problema de la asignación de grúas pórtico creando un modelo determinista en donde se considera el tiempo de alistamiento o Setup de las grúas antes de operación, pero esto genera mucha incertidumbre en los datos y en algunos casos genera que el modelo arroje soluciones inviables; entonces para manejar la incertidumbre existente los autores utilizan en forma conjunta un algoritmo genético y un algoritmo heurístico de inserción para obtener soluciones casi óptimas ante esta problemática. Por otro lado, Türkoğulları, Taşkın, Aras, y Altinel, (2014) estudiaron la planificación integrada de los siguientes problemas que se presentan en las terminales portuarias de contenedores: asignación de atraque, asignación de grúa de muelle (número) y asignación de grúa de muelle (específica). Estos emplearon la programación lineal de enteros binarios para darle resolución a los problemas de asignación de atraque y de asignación de

grúa de muelle (número), con esto determinaron el muelle correspondiente al buque y el total de grúas que tenían disponible para asignar, y así posteriormente extender el modelo e incluir el problema de asignación de grúa de muelle (específico), es decir, el número exacto de grúas que le corresponde a un determinado buque, para esto utilizaron un algoritmo de plano de corte que resuelve repetidamente el problema mediante la adición de cortes generados a partir de las soluciones óptimas arrojadas por la programación lineal.

La asignación de grúas pórtico en un buque portacontenedores es una de las operaciones más críticas dentro de las terminales portuarias que manejan carga contenedorizada; de aquí la importancia que se le ha brindado en los últimos años. A continuación encontramos el trabajo realizado por A. Zhang, Zhang, Chen, Chen, y Chen, (2017) los cuales investigaron el problema de la asignación de grúas pórtico con restricciones no cruzadas, es decir, las grúas no pueden cruzar al momento de realizar las operaciones de cargue y descargue del buque, porque se encuentran en la misma vía, con esto buscaron minimizar el rendimiento de un buque portacontenedores, que no es más que el último tiempo de finalización de todas las tareas de manipulación del buque, para esto los autores formularon un algoritmo de aproximación con relación al peor de los casos que se pueda presentar al momento de atender al buque. Otro trabajo que aporta solución a la problemática abordada es el de X. Zhang, Zeng, y Yang, (2016) en donde abordan el problema desde la perspectiva de trabajo de doble ciclo en el cual la grúa no hace movimiento vacíos, es decir, carga un contenedor y descarga inmediatamente otro contenedor, esto lleva a reducir el tiempo de operación de la grúa entre un 16% y 25% respectivamente, para las actividades asignadas. Además de esto proponen una estrategia de almacenamiento mixto para mejorar la eficiencia de las operaciones de la terminal portuaria, en esta se tiene en cuenta la distancia de viaje del camión, las operaciones de la grúa de pórtico y el número de camiones requeridos, por tanto, se enfocaron en utilizar un modelo de ciclos de tiempos basado en la teoría de colas para evaluar los resultados de su propuesta en el largo plazo, lo cual permite reducir la distancia de recorrido del camión, el número de camiones y el tiempo de operación de la grúa pórtico.

A continuación, se relacionan algunos trabajos (Ver tabla 1) que han abordado la problemática en estudio sobre la asignación o programación de la grúa pórtico, diversos autores

han planteado o formulado metodologías de resolución a esta problemática buscando con esto el incremento de las eficiencias y productividades de la terminales portuarias que manejan carga contenedorizada, a través de la minimización del tiempo total de operación de cargue y descargue realizada por el recursos más crítico en este tipo de terminales el cual es la grúa pórtico.

Tabla 1.

Resumen de trabajos relacionados con la asignación de grúas pórtico

INVESTIGACIÓN	AUTOR	DESCRIPCIÓN
A scheduling method for Berth and Quay cranes	(Park & Kim, 2003)	Los autores formularon una heurística con programación entera mixta con el objetivo de minimizar los tiempos de las operaciones de la grúa pórtico y atraque de buque en muelle.
A branch-and-cut algorithm for the quay crane scheduling problem in a container terminal	(Moccia, Jean-François, Gaudio, & Gilbert, 2006)	Estos autores platearon un algoritmo de ramificación y corte para el problema de programación de la grúa pórtico en un terminal de contenedores para aumentar las eficiencias de la terminar con la reducción del tiempo de operación de la grúa.
A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem	(Sammara, Francois, Laporte, & Monaco, 2007)	A través de una heurística de búsqueda Tabú, los autores minimizaron el tiempo de operación de las grúas pórtico en la carga y descarga de contenedores de buques portacontenedores.

INVESTIGACIÓN	AUTOR	DESCRIPCIÓN
<p>An efficient algorithm for solving a new mathematical model for a quay crane scheduling problem in container ports</p>	<p>(Tavakkoli-Moghaddam, Makui, Salahi, Bazzazi, & Taheri, 2008)</p>	<p>Construyeron un algoritmo eficiente para darle solución a un modelo matemático planteado para la programación de grúas pórtico, con el propositivo no solo de aumentar las eficiencias del puerto, sino reducir los costos de utilización de sus recursos.</p>
<p>Maximizing the number of dual-cycle operations of quay cranes in container terminals</p>	<p>(H. Zhang & Kim, 2009)</p>	<p>Diseñaron una heurística para maximizar el número de operaciones de doble ciclo de las grúas pórtico en las terminales de contenedores y así minimizar los tiempos de atraque del buque en muelle y tiempo total de las operaciones realizadas en este.</p>
<p>An enriched model for the integrated berth allocation and quay crane assignment problem</p>	<p>(Raa, Dullaert, & Scharen, 2011)</p>	<p>A través de un algoritmo con programación entera mixta dan solución a un modelo enriquecido que combina la asignación integrada muelles y de grúas pórtico.</p>
<p>A heuristics-based solution to the continuous berth allocation and crane assignment problem</p>	<p>(Elwany, Ali, & bouelseoud, 2013)</p>	<p>Con la formulación de una heurística NP HARD los autores solucionaron el problema de atraque y asignación de grúas pórtico y con esto redujeron el tiempo total de operación de la grúa al mínimo posible.</p>

INVESTIGACIÓN	AUTOR	DESCRIPCIÓN
Berth allocation problem with quay crane assignment for container terminals based on rolling-horizon strategy	(Xiao & Hu, 2014)	Formula un modelo multi-objetivo para reducir al mínimo posible los costos de atención a los buques y al mismo tiempo minimizar el tiempo de operación en los buques con la programación eficiente de grúas pórtico.
A new continuous berth allocation and quay crane assignment model in container terminal	(Han et al., 2015)	Formularon un algoritmo para minimizar los recursos y mejorar las eficiencias de una terminal portuaria de contenedores solucionando en forma conjunta la asignación de muelles y grúas pórtico
Multi-objective optimization of the quay crane assignment and scheduling problem: Time and movement optimization	(De Oliveira, David Barbosa, & Lamprou, 2016)	Centraron su investigación en resolver el problema de programación de la grúa pórtico minimizando el tiempo de realización de actividades de la grúa y los costos relacionados con las operaciones de esta. Los autores plantearon un modelo multi-objetivo para reducir el tiempo total de servicio de los buques.
Quay crane scheduling with draft and trim constraints	(Wu & Ma, 2017)	Los autores proponen un modelo de programación lineal mixto con el objetivo de minimizar el tiempo total de manejo de contenedores. Además, desarrollaron un método

INVESTIGACIÓN	AUTOR	DESCRIPCIÓN
		ramificado en conjunto de un algoritmo genético híbrido para solucionar el problema estudiado de asignación de grúas pórtico.
The study of the unidirectional quay crane scheduling problem: complexity and risk-aversion	(J.H. Chen & Bierlaire, 2017)	A través de programación entera mixta abordan el problema de asignación de grúa pórtico unidireccional teniendo en cuenta la inestabilidad de los buques. Con su modelo optimizaron las operaciones realizadas por la grúa.

Fuente: Elaboración propia

3. Conclusión

Las operaciones en los terminales de contenedores se han convertido en temas cruciales, de ahí la importancia que ha venido adquiriendo con el pasar de los años, y lo que ha llevado a diversos autores a plasmar metodologías de resolución con el fin de optimizar las actividades desarrolladas en los puertos.

Dentro de estas actividades encontramos la asignación de grúas pórtico, operación fundamental debido a que estas grúas son el recurso más valioso dentro de las terminales portuarias que manejan carga contenedorizada, ya que son las únicas que puede desempeñar las operaciones de cargar y descargar a los buques portacontenedores, por tal motivo, es necesario hacer un gestión y asignación eficiente de las grúas pórtico para así incrementar la productividad y eficiencia de la terminal en relación a la operativa de los buques, porque se logra reducir el tiempo en que estos están atracados en muelle hasta lograr el mínimo posible.

Con la revisión bibliográfica realizada de la literatura existente en materia de asignación de grúas pórtico en terminales portuarias, se encuentra que diversos autores en sus estudios han tenido como objetivo la minimización del tiempo total en las operaciones de carga y descarga de contenedores en los buques, y así incrementar las eficiencias y productividades de los puertos y a su vez convertirlos en más atractivos a las navieras. También se evidencia que autores centraron sus estudios no en reducir tiempos sino los costos asociados a esta operación portuaria, lo cual nos lleva a concluir que no es solo asignar gran cantidad de recursos y reducir el tiempo total de las operaciones de las grúas, sino encontrar un equilibrio que permita optimizar todos los recursos, costos y principalmente se minimice el tiempo total de operación contribuyendo así al aumento de las eficiencias y productividades en la terminal portuaria.

Referencias Bibliográficas

- Al-Dhaheri, N., & Diabat, A. (2015). The Quay Crane Scheduling Problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 87–94. <http://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.02.010>
- Al-Dhaheri, N., Jebali, A., & Diabat, A. (2016a). A simulation-based Genetic Algorithm approach for the quay crane scheduling under uncertainty. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 66, 122–138. <http://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.01.009>
- Al-Dhaheri, N., Jebali, A., & Diabat, A. (2016b). The quay crane scheduling problem with nonzero crane repositioning time and vessel stability constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 94, 230–244. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2016.01.011>
- 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.
- Chen, J. H., & Bierlaire, M. (2017). The study of the unidirectional quay crane scheduling problem: complexity and risk-aversion. *European Journal of Operational Research*, 260(2). <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.007>
- Chen, J. H., Lee, D.-H., & Goh, M. (2014). An effective mathematical formulation for the unidirectional cluster-based quay crane scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 232(1), 198–208. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.051>
- Cuberos Gallardo, M. (2015). *Algoritmo de recocido simulado para la mejora de la eficiencia de una terminal intermodal*.
- De Oliveira, J. P. R., David Barbosa, J., & Lamprou, M. (2016). Multi-objective optimization of the quay crane assignment and scheduling problem: Time and movement optimization. En *IISA 2016 - 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*. <http://doi.org/10.1109/IISA.2016.7785350>
- Diabat, A., & Theodorou, E. (2014). An Integrated Quay Crane Assignment and Scheduling Problem. *Computers & Industrial Engineering*, 73, 115–123. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2013.12.012>

- Elwany, M. H., Ali, I., & Abouelseoud, Y. (2013). A heuristics-based solution to the continuous berth allocation and crane assignment problem. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 671–677. <http://doi.org/10.1016/j.aej.2013.09.001>
- Expósito-Izquierdo, C., González-Velarde, J. L., Melián-Batista, B., & Marcos Moreno-Vega, J. (2014). Hybrid Estimation of Distribution Algorithm for the Quay Crane Scheduling Problem. *Applied Soft Computing*, 13(10), 4063–4076. <http://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.05.006>
- Fu, Y.-M., & Diabat, A. (2015). A Lagrangian relaxation approach for solving the integrated quay crane assignment and scheduling problem. *Applied Mathematical Modelling*, 39(3), 1194–1201. <http://doi.org/10.1016/j.apm.2014.07.006>
- Fu, Y.-M., Diabat, A., & Tsai, I.-T. (2014). A multi-vessel quay crane assignment and scheduling problem: Formulation and heuristic solution approach. *Expert Systems with Applications*, 41(15), 6959–6965. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.002>
- 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. <http://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. <http://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. <http://doi.org/10.1016/j.swevo.2015.11.002>
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.008>
- Luo, J., Wu, Y., & Mendes, A. B. (2016). Modelling of integrated vehicle scheduling and container storage problems in unloading process at an automated container terminal. *Computers & Industrial Engineering*, 94, 32–44. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2016.01.010>
- Moccia, L., Jean-François, Gaudioso, M., & Gilbert, L. (2006). A branch-and-cut algorithm for

- the quay crane scheduling problem in a container terminal. *Naval Research Logistics*, 53(1), 45–59.
- Park, Y. M., & Kim, K. H. (2003). A scheduling method for Berth and Quay cranes. *Container Terminals and Automated Transport Systems: Logistics Control Issues and Quantitative Decision Support*, 159–181.
- Peterkofsky, R. I., & Daganzo, C. F. (1990). A branch and bound solution method for the crane scheduling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 24(3), 159–172. [http://doi.org/10.1016/0191-2615\(90\)90014-P](http://doi.org/10.1016/0191-2615(90)90014-P)
- Porto, A. (2014). Diseño de un Modelo de Programación de Grúas Pórticos teniendo en cuenta Mantenimientos Preventivos. *ResearchGate*.
- Raa, B., Dullaert, W., & Schaeren, R. Van. (2011). An enriched model for the integrated berth allocation and quay crane assignment problem. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14136–14147. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.224>
- Sammara, M., Francois, J., Laporte, G., & Monaco, F. M. (2007). A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem. *Science+Business.*, 45–58.
- Shang, X. T., Cao, J. X., & Ren, J. (2016). A robust optimization approach to the integrated berth allocation and quay crane assignment problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 94, 44–65. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2016.06.011>
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Makui, A., Salahi, S., Bazzazi, M., & Taheri, F. (2008). An efficient algorithm for solving a new mathematical model for a quay crane scheduling problem in container ports. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 241–248. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2008.05.011>
- Türkoğulları, Y. B., Taşkın, Z. C., Aras, N., & Altınel, İ. K. (2014). Optimal berth allocation and time-invariant quay crane assignment in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 88–101. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.015>
- Wu, L., & Ma, W. (2017). Quay crane scheduling with draft and trim constraints. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 97, 38–68. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2016.10.011>
- Xiao, L., & Hu, Z. H. (2014). Berth allocation problem with quay crane assignment for container terminals based on rolling-horizon strategy. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.

<http://doi.org/10.1155/2014/845752>

Zhang, A., Zhang, W., Chen, Y., Chen, G., & Chen, X. (2017). Approximate the scheduling of quay cranes with non-crossing constraints. *European Journal of Operational Research*, 258(3), 820–828. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.10.021>

Zhang, H., & Kim, K. H. (2009). Maximizing the number of dual-cycle operations of quay cranes in container terminals. *Computers & Industrial Engineering*, 56(3), 979–992. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.008>

Zhang, X., Zeng, Q., & Yang, Z. (2016). Modeling the mixed storage strategy for quay crane double cycling in container terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 94, 171–187. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2016.08.002>