

Modelo de simulación para la gestión del transporte interno de contenedores en un puerto marítimo

A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport

Carlos Alberto Arango-Pastrana

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109. DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

Resumen

En este trabajo se propone un modelo de simulación para la gestión de los vehículos encargados de realizar el transporte interno de contenedores en un puerto marítimo. Estos vehículos son camiones especializados que deben transportar los contenedores dentro del puerto para realizar actividades como inspecciones por las autoridades aduaneras, cargue y descargue a los diferentes modos de transporte y almacenaje. El principal objetivo de esta investigación es proponer un modelo que permita gestionar de forma eficiente los camiones minimizando los viajes vacíos que realizan estos vehículos. Para esto se propone un modelo de simulación que considera tres estrategias que se denominan ciclo simple, doble y mixto. El modelo propuesto permitió considerar elementos adicionales de la operativa de transporte interno que afectan la utilización de los camiones, así como también diferentes escenarios con incrementos de tráfico que permitió validar la robustez del modelo. Como principal resultado el modelo permitió determinar la cantidad apropiada de camiones que se le deben asignar para cada una de las tareas, evitando así congestiones internas y disminuyendo los costos de uso de vehículos, además de incrementar la productividad de la maquinaria que complementan las operaciones de transporte.

Palabras clave: Modelo, Simulación, Puertos Marítimos, Transporte interno, Gestión de vehículos.

Abstract

This paper proposes a simulation model for the management of vehicles in charge of the internal transport of containers at a seaport. These vehicles are specialized trucks that must transport containers within the port to carry out activities such as inspections by customs authorities, loading and unloading to different modes of transport and storage. The main objective of this research is to propose a model that permits efficiently managing trucks by minimizing the empty journeys carried out by these vehicles. For this purpose, we propose a simulation model that considers three strategies that are called single, double and mixed cycles. The proposed model allowed to consider additional elements of the internal transport operation that affect the use of trucks, as well as different scenarios with traffic increases that allowed validating the robustness of the model. As a main result, the model allowed to determine the appropriate amount of trucks that must be allocated for each of the tasks, thus avoiding internal congestion and reducing the costs of using vehicles, as well as increasing the productivity of the machinery that complements the transport operations.

Keywords: Model, Simulation, Seaports, Internal transport, Vehicle management.

1 **1. Introducción**

2

3 Las terminales portuarias son un nodo básico en las redes de transporte mundiales, por
4 lo cual todas las operaciones de éstas deben ser optimizadas con el fin de lograr la
5 máxima productividad global en este nodo de la red (Ambrosino, Sciomachen, y Tanfani,
6 2004). Entre los diferentes tipos de terminales portuarias los dos principales grupos son
7 las terminales especializadas en un solo tipo de carga y las terminales multipropósito
8 que manejan más de un tipo de carga.

9

10 A partir del siglo XX han sucedido diferentes acontecimientos que aceleraron de manera
11 drástica la evolución y desarrollo de los puertos de contenedores. Entre los más
12 importantes está la aparición del contenedor en el transporte marítimo, lo cual redujo
13 considerablemente los tiempos y costes de manipulación de la carga, ocasionando una
14 disminución en las tarifas de los fletes y por ende, un incremento en el flujo de los
15 negocios. Esto ha ocasionado que cada vez sean más los puertos especializados en
16 contenedores, también conocidos como Terminales de Contenedores Marítimas (TCM) las
17 cuales cuentan con recursos, maquinaria e instalaciones adaptadas para la manipulación
18 de contenedores de forma eficiente.

19

20 Estas TCM son sistemas logísticos complejos ya que internamente diferentes
21 operaciones se realizan de forma simultánea, tales como descargue de buques,
22 inspecciones de mercancía por autoridades, almacenaje de contenedores, cargue de
23 mercancía de exportación, traslado de contenedores a espacios habilitados, etc.
24 Diferentes autores han realizado una división de la operativa de las TCM en subsistemas,
25 lo cual permite un mejor aprovechamiento de los recursos cuando se proponen modelos
26 de gestión, esto es debido a que la diversidad en la maquinaria que se emplea para su
27 funcionamiento y la cantidad variable a resolver en cada operación es muy grande lo
28 que convierte a los sistemas portuarios en sistemas logísticos complejos. Se debe tener
29 en cuenta que la operativa de cada terminal depende de su diseño, lo cual a su vez
30 depende de factores como tamaño, tipo de mercancías manipuladas, etc. En la literatura
31 se encuentran investigaciones como las realizadas por Steenken, Voß, y Stahlbock,
32 (2004) y Stahlbock y Voß (2007) en las cuales los autores recopilan los principales
33 trabajos relacionados con la gestión de las terminales de contenedores. Los autores
34 agrupan los trabajos según el subsistema de la terminal el cual abordan para proponer
35 mejoras.

36

37 Una de las operaciones más importantes en las TCM es el transporte interno de
38 contenedores, el cual se encarga del transporte horizontal que moviliza los contenedores
39 a través de toda la terminal, y del transporte para apilado de contenedores realizado por
40 las grúas. Según Ramírez-Nafarrate, González-Ramírez, Smith, Guerra-Olivares, y Voß
41 (2017), el transporte horizontal se subdivide en transporte en muelles y transporte de
42 tierra sirviendo a barcos, camiones externos y trenes respectivamente. Así estos
43 vehículos o camiones especializados están desplazándose por el terminal

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport
in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.

DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

44 constantemente que sumados a los que llegan del interior de los países generan grandes
45 congestiones dentro de las TCM (Jovanovic, 2018).

46

47 Esta investigación propone un modelo para la gestión del transporte interno que
48 considera tres estrategias denominadas ciclo sencillo, ciclo doble y ciclo mixto, lo
49 anterior con el objetivo de minimizar los viajes vacíos que realizan los camiones dentro
50 de un puerto marítimo. En el primer apartado se presenta el marco teórico el cual
51 sintetiza los trabajos más relevantes que proponen modelos para la gestión de este
52 proceso, posteriormente se explica la metodología empleada para la formulación del
53 modelo, así como su funcionamiento lo cual da paso a los resultados obtenidos, para
54 finalizar con las conclusiones y el listado de referencias consultadas.

55

56 **2. Marco teórico**

57

58 A continuación, se presentan los artículos e investigaciones que fueron consultadas para
59 la elaboración de esta investigación. Dichos documentos permitieron argumentar la
60 importancia de la problemática abordada, así como la pertinencia de la herramienta
61 empleada.

62

63 **2.1. Gestión del transporte interno en los puertos marítimos**

64

65 El transporte interno en los puertos marítimos o también conocido como el *Landside*
66 *transport* es la operativa donde se planifican todos los movimientos de contenedores
67 que se realizan en un puerto de contenedores. Un contenedor suele pasar en una
68 terminal de contenedores marítima en promedio siete días (World Bank, 2019), desde el
69 día de su llegada hasta justo antes de su partida. Los movimientos de contenedores se
70 realizan para permitir el desarrollo de actividades como: inspecciones en aduanas,
71 desembalaje de la carga, reubicación de contenedores vacíos, etc.

72

73 La gestión del transporte terrestre es enfocada desde diferentes puntos de vista en la
74 literatura. Investigaciones como Chao (2002) y Scheuerer (2006) proponen una variación
75 del *Vehicle Routing Problem* (VRP) a rutas de camiones, lo que genera el *Trailer Routing*
76 *Problem* (TRP). El objetivo es minimizar las distancias dentro de la terminal. Esta
77 propuesta ha servido de base para el desarrollo de investigaciones como los de Jula,
78 Dessouky, Ioannou, y Chassiakos (2005), Mattfeld y Orth (2006), Namboothiri y Erera
79 (2008) y Caris y Janssens (2009) que modelan el acarreo de los contenedores dentro de
80 la terminal con el objetivo de minimizar costes y distancias.

81

82 Otras investigaciones se enfocan en la gestión de solo ciertas maquinarias de transporte
83 terrestre como en Corry y Kozan (2006) y Hansen (2004) que gestionan el transporte
84 terrestre realizado por camiones con más de una plataforma (tren-camión). Zehendner,
85 Rodriguez-Verjan, Absi, Dauzère-Pérès, y Feillet (2013) y Das y Spasovic (2003)
86 proponen un procedimiento para la asignación de *straddle carriers* a camiones para
87 realizar la operación de carga y descarga de contenedores.

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport
in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.

DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

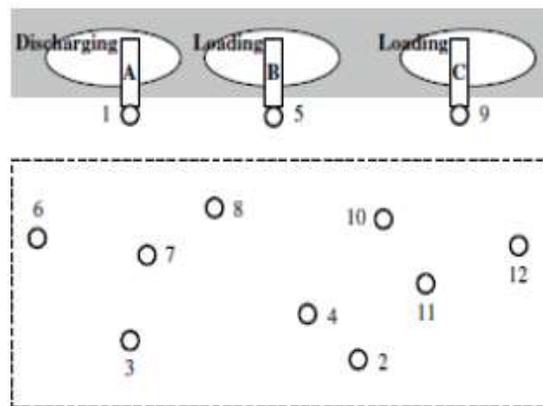
88 Autores como Zhen, Yu, Wang, y Sun (2019) estudian la relación entre la programación
 89 de camiones y grúas de muelle. Estos autores proponen un modelo de optimización
 90 entero mixto que es resuelto con la herramienta CPLEX. El modelo propuesto permite la
 91 planificación de ambos recursos bajo un criterio de minimización de costos.

92
 93 Como se explicó anteriormente, en algunas investigaciones para gestionar el transporte
 94 terrestre se enfoca éste como un problema de rutas de vehículos del tipo VRP dentro de
 95 la TCM. Entre estas investigaciones se encuentra la realizada por Nishimura, Imai, y
 96 Papadimitriou (2005) donde los autores abordan los movimientos internos como un
 97 problema de rutas de camiones en la explanada de una TCM. Ellos se basan en que la
 98 optimización de estas rutas reduce la distancia de los trayectos realizados por los
 99 camiones de un punto a otro en la terminal. Realizan una variación del VRP que es el
 100 VRPB siglas de la definición en inglés de *vehicle routing problem with backhauls*, que
 101 corresponde al problema de rutas de vehículos con recorridos de regreso. Al resolver el
 102 VRPB se encuentra un conjunto óptimo de secuencias de entrega y recogida de
 103 contenedores en el cual los vehículos parten de un punto en especial.

104
 105 Estos autores proponen un modelo para optimizar las rutas de los camiones que realizan
 106 movimientos de contenedores entre la zona de almacenaje y los muelles. Este modelo
 107 permite optimizar las rutas de ida y regreso entre diferentes puntos ubicados en
 108 cualquier parte de la terminal. En la Figura 1 se muestra la ubicación de tres puntos de
 109 entrega los cuales corresponden a uno por cada buque y nueve puntos de recogida
 110 distribuidos dentro de la terminal. Al solucionar el problema se obtiene una secuencia de
 111 rutas que conectarán los doce puntos de recogida y entrega.

112

113 **Figura 1. Localización de los puntos de entrega y recogida dentro de la**
 114 **terminal**



115

116

Fuente: Nishimura *et al.* (2005).

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.
 DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

117 2.2.Gestión del transporte en muelles

118

119 Para realizar las operaciones de carga y descarga de los contenedores en los buques, es
120 necesario transportar los contenedores desde los diferentes bloques en la Zona de
121 Almacenaje (ZA) hasta las grúas que estén asignadas a cada buque. A esta operación se
122 le llama transporte en muelles y una buena gestión permitirá que las grúas pórtico
123 puedan realizar su trabajo de forma eficiente; en la literatura científica se suele
124 denominar este problema como *Quayside Transport Planning* (QTP). Esta zona de la
125 terminal es conocida como *buffer* y es necesario optimizar el transporte en ésta por
126 motivos tales como:

127

- 128 • La sincronización de los vehículos de transporte horizontal con las grúas pórtico
129 evita la generación de tiempos ociosos y cuellos de botella.
- 130 • El diseño de rutas puede eliminar posibles atascos en la zona de muelles.
- 131 • Los vehículos de transporte horizontal son utilizados constantemente en toda la
132 TCM por lo cual su óptima asignación permite un buen funcionamiento global.
- 133 • La eficiencia de la operación de carga y descarga de contenedores que realizan
134 las grúas pórtico depende directamente de la eficiencia del transporte en muelles.

135

136 En los últimos tiempos el transporte entre la zona de buques y la ZA, está siendo
137 realizado por vehículos auto-guiados más conocidos como AGVs por sus siglas en inglés
138 *Automated Guided Vehicles*. Estos vehículos son más eficientes que los camiones con
139 plataforma o los equipos de manipulación frontal en la movilización de contenedores. En
140 la literatura encontramos trabajo como Ho y Hsieh (2004), Ho y Chien (2006), Grunow,
141 Günther, y Lehmann (2004) y Yan, Zhu, y He (2014) que evalúan los beneficios de la
142 automatización de TCM con este tipo de vehículos, pero de igual forma identifican que
143 estos dependen de otras maquinarias para realizar su trabajo.

144

145 Para obtener el máximo rendimiento de este tipo de vehículos se deben realizar altas
146 inversiones de instalaciones, software y equipos necesarios que permitan incorporarlos
147 al funcionamiento de la terminal. Todo esto es beneficioso para TCM siempre y cuando
148 tenga un buen flujo de contenedores. Günther and Kap (2005) realizan una recopilación de
149 trabajos donde se estudian las diferentes situaciones de optimización de estos tipos de
150 vehículos de manera que logren alcanzar su máximo rendimiento.

151

152 Existe otro tipo de vehículo auto-guiado conocido como ALV (*Automated Lifting Vehicle*)
153 los cuales pueden levantar los contenedores del suelo sin necesidad de ser ayudados
154 por otro equipo de manipulación. En trabajos como Nguyen y Kim (2009), Vis y Harika
155 (2004) ,y Yang, Choi, y Ha (2004) se realizan comparaciones entre los AGVs y los ALVs
156 en terminales de contenedores automatizadas, en la mayoría de los estudios los ALVs
157 muestran mayor rendimiento al realizar las tareas de transporte en muelles.

158

159 En la Figura 2, tomada de Kim y Bae (2004), se puede ver un ejemplo de una TCM en la
160 cual el transporte en muelles es realizado por AGVs, como se sustentó en las
161 consideraciones anteriores la maquinaria de manipulación involucrada son las grúas de

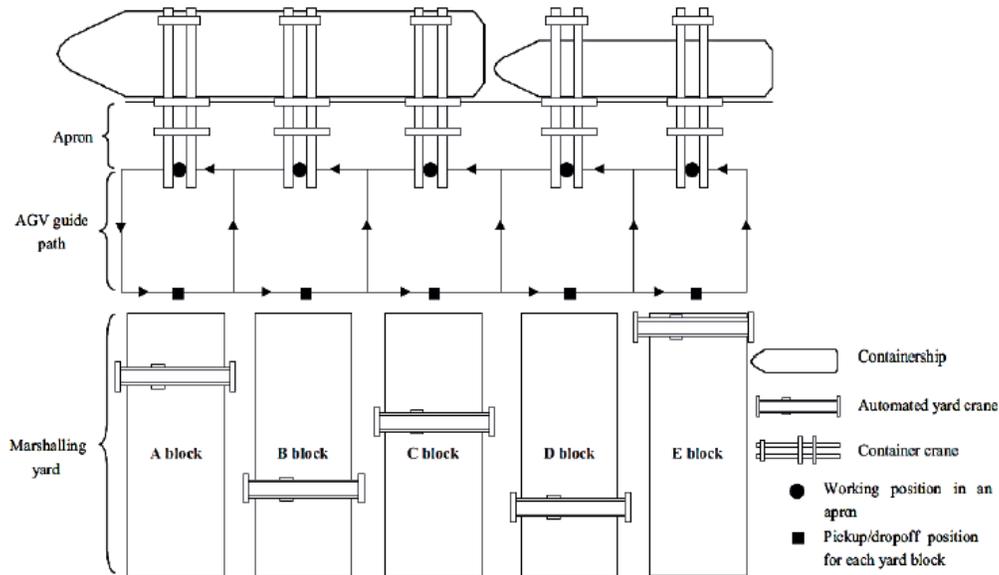
¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.

DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

162 muelle, las grúas de explanada y los AGVs, los círculos y los cuadrados negros
 163 representan los puntos en los que los AGVs entregarán o recibirán cada contenedor por
 164 la respectiva grúa.
 165

166 **Figura 2. Transporte interno con AGVs**
 167



Fuente: Kim y Bae (2004).

168
 169
 170
 171
 172
 173

Para la elaboración del modelo los autores realizan otras consideraciones más específicas relacionadas a continuación:

- Cada AGV puede ser asignado o servir a más de una grúa de muelle.
- Todos los AGVs son iguales y solo pueden transferir un contenedor a la vez.
- Los tiempos de espera de los AGVs debajo de las grúas de explanada no son considerados.
- Los tiempos que tarda una grúa de muelle en soltar un contenedor sobre un AGV o tomarlo de éste son insignificantes.
- Las congestiones que se puedan generar entre los diferentes recorridos que realizan los AGVs en las operaciones de transferencia no son consideradas.

183 **2.3. La simulación como herramienta para la gestión de operaciones de los**
 184 **puertos marítimos**
 185

186 La utilización de modelos de simulación para la gestión de los puertos marítimos es muy
 187 frecuente, algunos autores como Silberholz, Golden, y Baker (1991) proponen un modelo
 188 de simulación para evaluar el impacto de estrategias de cargue y descargue de los
 189 buques en la productividad de TCM. Los autores se enfocan principalmente en el

¿How to quote this article?

190 cumplimiento en el tiempo de servicio a los buques según su hora de llegada. Este
191 trabajo demostró las potencialidades que tiene la simulación como metodología que no
192 solo evalúa la eficiencia de los puertos, sino que además permite evaluar los impactos
193 en la eficiencia que generarían posibles cambios tácticos o técnicos como lo es por
194 ejemplo la automatización de las operaciones portuarias, lo cual ha sido ampliamente
195 abordado por autores como Ahmed (2014; Gharehgozli, Vernooij, y Zaerpour (2017); Jula
196 y Ioannou (2002); Liu, Jula, y Ioannou (2001) y Yang, Choi, y Ha, (2004).

197
198 La posibilidad que da la simulación de evaluar el rendimiento de todo un puerto,
199 identificar los principales cuellos de botella que limitan la productividad total y evaluar
200 los impactos de las posibles soluciones a implementar, convirtió a esta metodología
201 como una de las más usadas en diferentes regiones del mundo. En algunos trabajos para
202 evaluar la eficiencia de todo el puerto y sus recursos como es el caso de Nam y Yu (2002)
203 aplicado a la TCM de Pusan en Corea; Zhou, Guo, y Song (2007) quienes diseñan un
204 simulador que incluye algoritmos para la toma de decisiones; Beškovnik y Tvrđy (2010)
205 en donde utilizan la simulación para planificar, organizar y evaluar la eficiencia de un
206 TMC; y Nicoletti, Chiurco, Arango, y Diaz (2014) que mediante un modelo de simulación
207 evalúan el rendimiento de la maquinaria en un TCM español.

208
209 Otro enfoque dentro de la simulación que cada día tiene más aplicaciones es en el que
210 se realiza un modelo de simulación para la gestión de una actividad o recurso específico,
211 pero considerando elementos del entorno que afectan su rendimiento, enfoque en el que
212 se basa esta investigación. Autores como Ho y Chien (2006) y Soriguera, Espinet, y
213 Robuste (2006) evalúan la gestión de vehículos para el transporte interno de los
214 contenedores; Lee, Cao, y Shi (2007) y Legato, Canonaco, y Mazza (2009) que evalúan
215 y optimizan las operaciones de las grúas de muelle y las grúas pórtico; Arango, Cortés,
216 Onieva, y Escudero (2013) y Arango, Cortés, Muñuzuri, y Onieva (2011) que evalúan y
217 optimizan la asignación de muelles y grúas de muelle a los buques.

218 219 **3. Metodología basada en simulación para la gestión del transporte interno** 220 **en un puerto marítimo**

221
222 En este apartado se explica el diseño y funcionamiento del modelo de simulación el cual
223 tiene dos importantes propósitos, en primer lugar, está la simulación de la complejidad
224 del sistema portuario al considerar las solicitudes internas que se realizan para el recurso
225 camión al soportar todos los traslados internos del TCM y en segundo lugar se evalúan
226 tres estrategias de transporte en la explanada llamadas: ciclo simple, ciclo mixto y doble
227 ciclo. Para cumplir estos propósitos se cuentan con tres submodelos integrados que se
228 explican a continuación. El software utilizado para el diseño del modelo de simulación es
229 Arena 14.0 el cual tiene un potente compilador y gran versatilidad para modelar
230 cualquier tipo de proceso.

231

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport
in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.
DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

232 3.1. Llegada de buques y lectura de datos

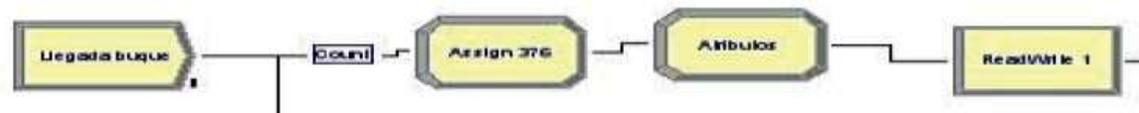
233

234 El mayor flujo de contenedores y por ende de tareas para transportar éstos se genera
 235 cuando llega un buque al puerto; es por esto que el modelo se enfoca principalmente en
 236 la gestión del transporte interno entre el muelle y la zona de almacenaje. Para esto se
 237 diseñó un submodelo que representa cómo llegan los buques al puerto y se direccionan
 238 al muelle que tienen asignado para efectuar la carga/descarga de contenedores. Los
 239 módulos más importantes de este submodelo se muestran en la Figura 3 y entre estos
 240 se destaca el módulo *Create* llamado “Llegada de buque”, donde se crean las entidades
 241 buque (*entity 1*). Seguidamente, se declaran los atributos y variables, mediante un
 242 módulo *Readwrite* el cual toma los datos de un archivo Excel (en el cual están los datos
 243 necesarios para la ejecución de la simulación).

244

245 **Figura 3. Llegada de buques y lectura de datos**

246



247

248

Fuente: Elaboración propia.

249

250 Con respecto a los tiempos de viaje entre el muelle y las localizaciones de los diferentes
 251 contenedores en la zona de almacenaje se estableció para el modelo de simulación que
 252 el tiempo máximo es de 4 minutos. Para determinar esto se consideró un TCM de 100
 253 hectáreas y un tiempo de cargue por las grúas de 1 minuto.

254

255 Para el modelo de simulación se han creado seis muelles virtuales para realizar las
 256 operaciones de carga y descarga de contenedores, esto con el propósito de representar
 257 posibles congestiones en la línea de atraque. Se utiliza una simple modelación con un
 258 módulo *Decide*, en el que se busca un muelle libre. Esto se hace mediante una variable
 259 llamada Recorrido, en el que recorre el vector de estado *Est_Muelle (6,1)*. El vector
 260 *Est_Muelle* representa el estado en el que está cada uno de los 6 muelles. En caso de
 261 que no hubiera un muelle libre el buque irá a un *Hold* en el que esperará a que uno de
 262 los muelles quede liberado.

263

264 3.2. Asignación de ciclo

265

266 En este submodelo se identifica el tipo de ciclo con el que se realizarán las tareas de
 267 transporte interno de los contenedores, para esto se tienen un conjunto de módulos
 268 divididos en tres grupos los cuales están presididos por el módulo *Choose* el cual tiene
 269 como función asignar el tipo de ciclo y posteriormente el resto de módulos asignan los
 270 atributos y variables que representan la operación. Se utiliza el atributo *ciclo1* en el que
 271 la letra *l* es utilizada para indicar la ubicación de las tareas como por ejemplo una grúa.
 272 También se usan los atributos *Ql(l)* y *QE(l)*. Dentro de cada conjunto de tareas para
 273 representar los contenedores según sean de exportación o importación, se asignará *Ql(l)*

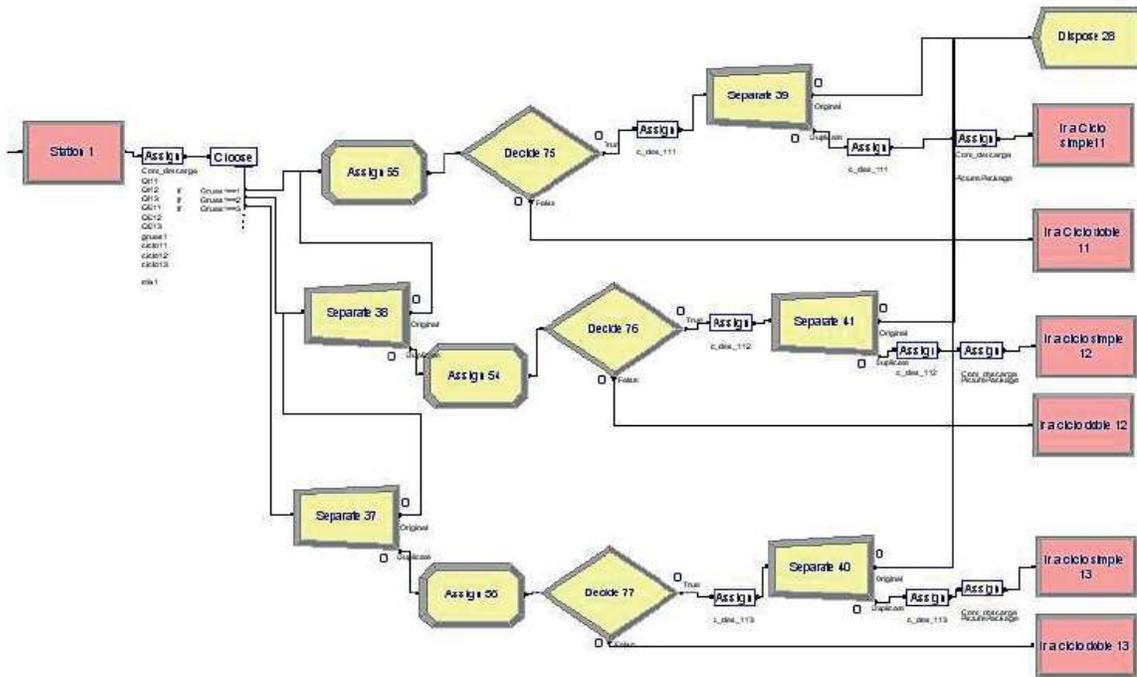
¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport
 in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.

DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

274 a $QI(j)$, en la que se indica la localización de la tarea. También se identifica el atributo
 275 $grúas_j$ en el que se indica el número de grúas que se usarán para descargar el buque en
 276 el muelle J . En la Figura 4 se muestran los módulos que realizan la asignación del ciclo.
 277
 278

Figura 4. Asignación de ciclo



Fuente: Elaboración propia.

279
 280
 281
 282 Cada que una entidad buque entre en estos módulos será sometido a una evaluación de
 283 condiciones para asignarle el ciclo que mejor le convenga, es por esto que en la Figura
 284 4 se pueden ver tres subconjuntos de módulos los cuales corresponden a cada ciclo. En
 285 la Figura 5 se muestran los recorridos según el tipo de ciclo.
 286
 287
 288

Figura 5. Tipo de ciclo



Fuente: Elaboración propia.

289
 290
 291
 292 Los ciclos tienen como propósito minimizar los viajes vacíos entre tareas asignadas a
 293 cada camión. Esta estrategia busca minimizar los costes asociados a los
 294 desplazamientos de los camiones para transportar los contenedores desde la zona de

¿How to quote this article?

295 muelle hasta la zona de almacenaje, para esto se proponen tres tipos de ciclos. A
296 continuación, se representa la relación de los costos por ciclo.

297

298

Costo CS > Costo CM > Costo DC

299

300

3.2.1. Ciclo simple

301

302 Cuando realizan las operaciones de transporte interno con una programación basada en
303 ciclo simple, es porque un vehículo tiene asignado dos o más tareas consecutivas con un
304 mismo punto de origen, por ejemplo, según la Figura 5 el vehículo debe transportar los
305 contenedores del punto A al B y debe regresar vacío al punto A para continuar con los
306 traslados hasta terminar el conjunto de tareas.

307

308

3.2.2. Ciclo doble

309

310 El proceso del ciclo doble se diferencia del ciclo simple en que el camión hace los
311 procesos de manera seguida. Es decir, descarga un contenedor del buque (A) y se
312 traslada directamente a la zona de almacenaje (B) en donde además de descargar el
313 contenedor, toma un segundo contenedor para regresar al punto de partida (A). Cuando
314 las tareas que se pueden realizar bajo este método se terminan, el modelo pasa a realizar
315 el transporte interno bajo la estrategia de ciclo simple.

316

317

3.2.3. Ciclo mixto

318

319 Éste es el último tipo de ciclo que se contempla. Las acciones que se realizan aquí parten
320 del ciclo simple, con la premisa de que un vehículo puede combinar y compartir
321 diferentes puntos de origen y destino con otros vehículos. Si se toma como ejemplo la
322 zona de descarga de buque significa que el mismo camión que carga un contenedor en
323 la grúa (C) y lo descarga en la zona de almacenaje (A), luego carga un contenedor en
324 esta misma zona (A) para llevarlo a la grúa (B). Con lo cual no hay trayectos en los
325 cuales el camión está vacío y además se puede combinar con otros tipos de ciclos. La
326 diferencia que hay respecto al ciclo doble es que en este caso trabaja con las distintas
327 grúas (en el doble ciclo solamente se trabajaba con una misma grúa y no interactuaba
328 con las otras).

329

330 Cuando dos contenedores consecutivos no están asignados al mismo vehículo, el modelo
331 incentiva la gestión del transporte interno bajo ciclo doble o ciclo mixto y, por ende,
332 permite que se realice una programación de camiones más eficiente ya que un camión
333 que ha transportado un contenedor puede ir a otra zona del puerto para realizar otras
334 operaciones y así minimizar que realice trayectos vacíos.

335

336

3.3. Simulación de operaciones complementarias en el TCM

337

338 Para complementar el modelo de simulación, se modelan operaciones que solicitan
339 constantemente los camiones para actividades como traslado de contenedores a zonas

¿How to quote this article?

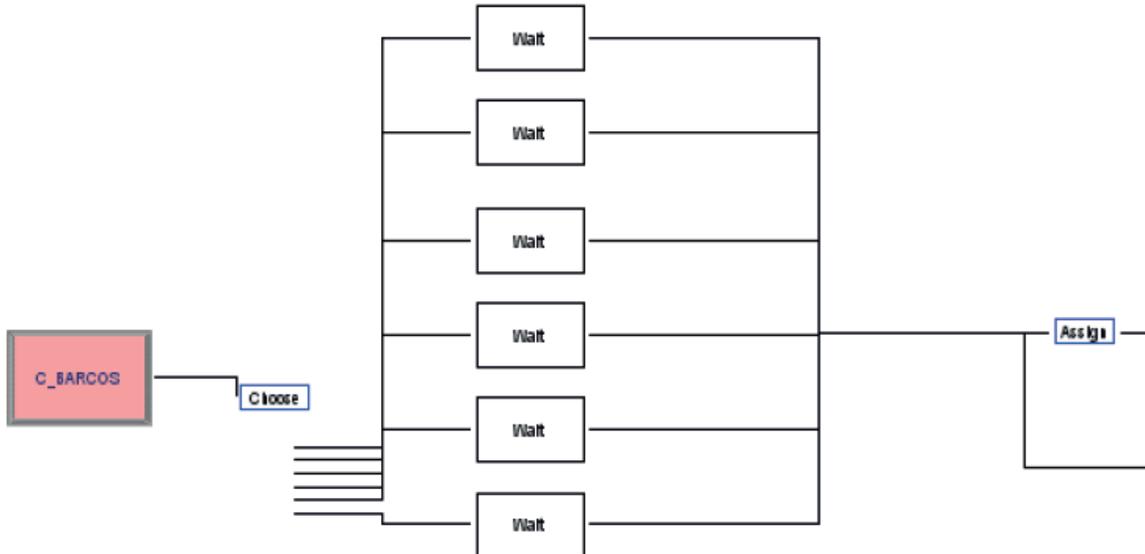
Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport
in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.

DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

340 de inspección por autoridades aduaneras, relocalización de contenedores en otros
 341 espacios disponibles de la ZA, traslado de contenedores vacíos que llegan al TCM, etc.
 342 Estas operaciones afectan constantemente la disponibilidad de vehículos en la TCM. Este
 343 submodelo es mostrado en la Figura 6, el cual está conformado por un conjunto de
 344 módulos que representan esos tiempos de uso de los camiones, para esto se usan
 345 principalmente los módulos *Hold*.

346
 347
 348

Figura 6. Submodelo de módulos para la simulación de operaciones complementarias



349
 350
 351

Fuente: Elaboración propia.

352 El objetivo que tiene el modelo de simulación es tener en cuenta toda la complejidad y
 353 variabilidad del sistema portuario, generando así una estrategia de gestión dinámica
 354 mediante la utilización de horizontes rodantes.

355
 356
 357

4. Resultados y análisis

358 Se contemplan dos escenarios diferentes para validar los modelos propuestos, cada
 359 escenario representa un periodo de 30 días y se realizan 12 réplicas por escenario lo que
 360 equivale a un año de operaciones, para el escenario 2 se realizaron 24 réplicas. Esto se
 361 realizó en un PC con un procesador de 1.3 GHz y 8 GB de RAM. El tiempo de ejecución
 362 fue de 30 minutos en total para las 12 réplicas. El objetivo del escenario 1 es analizar
 363 cómo se comportan los modelos con una carga de trabajo de 159 buques en un período
 364 de 30 días. El objetivo del escenario 2 es comprobar la robustez de los modelos, haciendo
 365 la descarga de los mismos 159 buques, pero en la mitad del horizonte temporal (15 días).
 366 Para ambos escenarios se contemplaron 3 tipos de buques según la localización de los
 367 contenedores dentro del buque; se tendrán 35% de buques con una sección de trabajo,
 368 34% con dos secciones de trabajo y 31% con tres secciones de trabajo.

¿How to quote this article?

369 El modelo de simulación propuesto controla que el mínimo de camiones asignados a
 370 cada buque sea igual al número de grúas pórtico que éste tuviera asignado, pero con
 371 respecto al máximo el modelo solo controla que siempre quede una cantidad mínima de
 372 camiones para atender los posibles buques que pudieran llegar al TCM. En la Tabla 1 se
 373 muestra, para los dos escenarios, el porcentaje de veces que se asignó cierto número
 374 de camiones a los buques, para esto se consideró la cantidad de secciones de trabajo
 375 para cada buque.

376
 377
 378

Tabla 1. Asignaciones de vehículos a secciones de trabajo en los buques

| Secciones de trabajo en los buques | Cantidad de camiones asignados en % | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--|
| | Escenario 1 | | | | | | | | | |
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 1 | 35,00 | | | | | | | | | |
| 2 | | 0,22 | 2,52 | 13,21 | 18,05 | | | | | |
| 3 | | | | | 3,96 | 11,95 | 4,40 | 5,66 | 5,03 | |
| Total | 35,00 | 0,22 | 2,52 | 13,21 | 22,01 | 11,95 | 4,40 | 5,66 | 5,03 | |
| Escenario 2 | | | | | | | | | | |
| 1 | 35,00 | | | | | | | | | |
| 2 | | 0,21 | 2,55 | 15,72 | 15,52 | | | | | |
| 3 | | | | | 6,49 | 9,43 | 6,28 | 5,03 | 3,77 | |
| Total | 35,00 | 0,21 | 2,55 | 15,72 | 22,01 | 9,43 | 6,28 | 5,03 | 3,77 | |

379
 380
 381

Fuente: Elaboración propia.

382 La anterior tabla muestra el comportamiento de las asignaciones de los camiones según
 383 las cantidades de secciones de trabajo que tenga cada buque. Para el caso de los buques
 384 con una sola sección de trabajo, las asignaciones fueron de 4 camiones para todos los
 385 casos, esto se debe a que una sola sección de trabajo en un buque implica la asignación
 386 de una sola una grúa y por ende que todos los camiones deban transportar en la
 387 modalidad de ciclo simple. Lo anterior permite evidenciar que con una estrategia de
 388 transporte de ciclo simple cada grúa necesita de cuatro camiones para realizar las
 389 operaciones de cargue y descargue sin generar cuellos de botella.

390
 391
 392
 393
 394
 395
 396
 397
 398

Del total de los buques considerados en un mes de operaciones el 34% corresponden a buques con dos secciones de trabajo, de los cuales el 52% requirieron de 8 camiones lo que corresponde a 4 por grúa, pero el 48% restante demandaron entre 5 y 7 camiones, esta reducción global de camiones por buque se derivó del uso de la estrategia de ciclo mixto. Lo anterior se generó porque un porcentaje de camiones después de transportar un contenedor del muelle a la zona de almacenaje o viceversa, fue asignado a otra grúa para que transportara un contenedor que estaba cerca de su última posición, esto se denominó ciclo mixto y superó el 30% de los movimientos en el segundo escenario. En

¿How to quote this article?

399 la Tabla 2 se muestra el porcentaje de trayectos por tipo de ciclo que fueron realizados
 400 en cada escenario.

401

402

Tabla 2. Trayectos según el ciclo

| Tipo de ciclo | Escenario 1 | Escenario 2 | Media (%) |
|---------------|-------------|-------------|-----------|
| Ciclo Simple | 74,5% | 67,2% | 70,9% |
| Ciclo Mixto | 25,5% | 32,8% | 29,2% |
| Total | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

403

Fuente: Elaboración propia.

404 La Tabla 2 evidencia que la estrategia de ciclo mixto, a pesar de ser más eficiente en
 405 términos de disminución de cantidad de vehículos por grúa, lo que impacta
 406 positivamente en los costos de la operación de transporte, solo representó en promedio
 407 el 30% de los trayectos, esto se debe a que las secuencias de cargue y descargue de los
 408 contenedores afecta el orden en que estos son transportados, por lo cual en la gestión
 409 del transporte interno se requieren tanto del ciclo simple como del ciclo mixto.

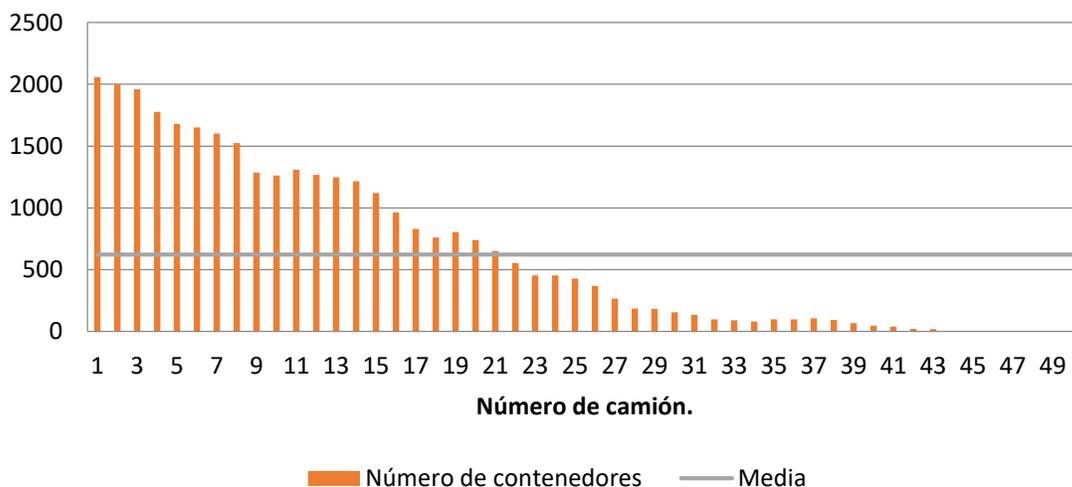
410

411 Uno de los propósitos del modelo era reducir la activación de camiones para pocos
 412 movimientos. Por lo tanto, no se determinó ningún tipo de condición para que la
 413 asignación de los camiones fuera balanceada y así repartir la carga de trabajo entre los
 414 recursos disponibles. Lo anterior con el propósito de identificar si existían vehículos que
 415 nunca se asignaran. En la Figura 7 y 8 se muestra la cantidad de contenedores que
 416 transportó cada camión en el escenario 1 y 2 respectivamente, además de la carga de
 417 trabajo media.

418

419

Figura 7. Contenedores movilizados por cada camión en el escenario 1



420

421

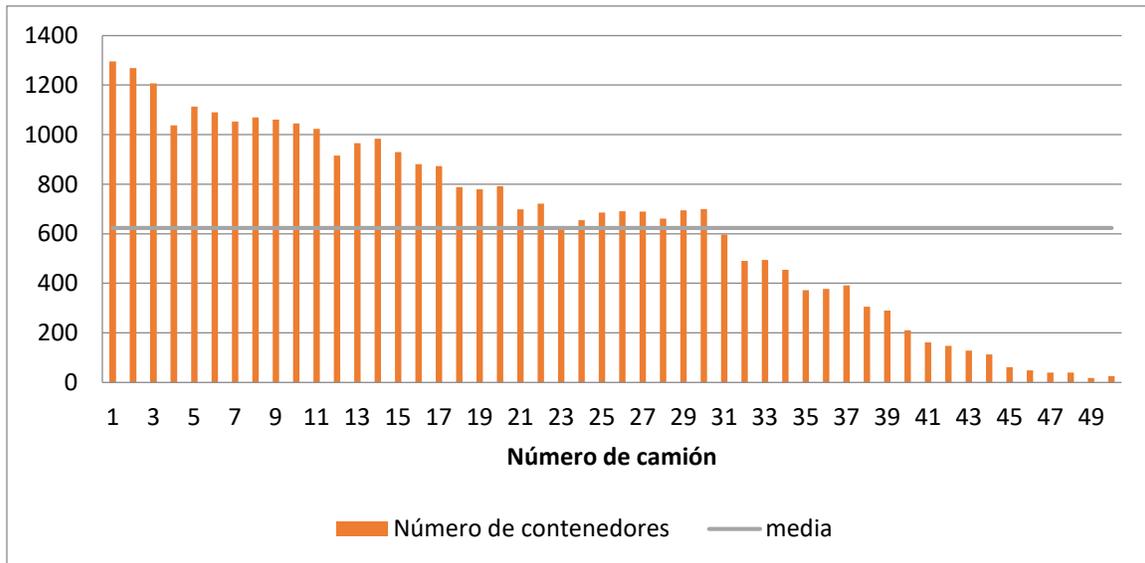
Fuente: Elaboración propia.

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.

DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

422

Figura 8. Contenedores movilizados por cada camión en el escenario 2423
424

Fuente: Elaboración propia.

425 En el escenario 1 se transportaron 680 contenedores por cada camión, un poco más que
 426 en el escenario 2 en el cual los movimientos fueron 620, esto debido a que en el
 427 escenario 1 los camiones 44 al 50 no fueron usados ninguna vez durante todo el
 428 horizonte temporal y en el escenario 2, a pesar de que se usaron todos los camiones del
 429 41 al 50, movilizaron de media 150 contenedores en un mes. Por lo cual se puede
 430 concluir que el modelo propuesto reduce la utilización de camiones lo cual permite
 431 ahorrar costes tanto de equipos como de personal sin perjudicar el rendimiento de las
 432 operaciones de muelle.

433
434
435

5. Conclusiones

436 Este trabajo se ha centrado en la gestión del transporte en muelles, operación muy
 437 importante en las terminales de contenedores marítimas, ya que soporta el traslado de
 438 contenedores de importación y exportación de los buques que llegan al puerto. Una
 439 adecuada gestión del transporte disminuye la congestión en los muelles, reduce los
 440 tiempos de espera de las grúas pórtico los cuales son denominados tiempos muertos de
 441 este recurso al no poder cargar o descargar contenedores por no contar con el camión
 442 disponible y por último cabe resaltar que toda mejora en la gestión del transporte en
 443 muelle que reduzca la cantidad de camiones asignados a un buque, sin desmejorar la
 444 productividad de la operación de cargue y descargue realizada por las grúas de muelle;
 445 disminuye los costos de esta operación de transporte.

446
447
448
449

Como herramienta se utilizó el software de simulación ARENA 14.0 en el cual se
 desarrolló el modelo de simulación propuesto, Esta investigación permite corroborar que
 la simulación es una metodología que permite considerar aspectos que los modelos

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.
 DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

450 matemáticos no pueden por sí solos. Por lo tanto, los experimentos proporcionan
451 resultados más cercanos a la realidad, además de permitir la evaluación, ajuste y
452 validación de estrategias de gestión en diferentes escenarios antes de la aplicación en
453 la realidad.

454
455 Para validar la robustez del modelo se han considerado dos escenarios, los cuales
456 contemplan variaciones en el tráfico de buques, cantidad de contenedores y variación
457 en el número de camiones, entre otras variables, lo que ha permitido apreciar el
458 comportamiento del modelo ante las situaciones presentadas.

459
460 El modelo propuesto considero asignaciones de camiones por buque y no por grúa, este
461 enfoque permitió la aplicación de estrategias de transporte denominadas ciclo simple,
462 doble ciclo y ciclo mixto. Las estrategias propuestas lograron reducciones en la cantidad
463 de camiones asignados por buque, además de reducciones en la cantidad de viajes
464 vacíos. Los trayectos de ciclo mixto fueron en promedio el 29% del total lo cual, permitió
465 que, en ambos escenarios, el 50% de los camiones transportaran contenedores por debajo
466 del promedio con respecto al ciclo simple.

467
468 Con respecto a la relación del número de camiones asignados por cada grúa y sección
469 de trabajo del buque, el modelo permitió identificar que el máximo de camiones por grúa
470 es 4, siendo esta cantidad de camiones que permite reducciones en costos sin afectar la
471 productividad de las grúas. Sin embargo, la estrategia de ciclo mixto logró reducciones
472 en la cantidad de camiones por buque cuando éste tiene más de una grúa asignada. Los
473 resultados mostraron que un buque con dos grúas puede trabajar con 7 camiones y un
474 buque con tres grúas puede trabajar con 9 camiones.

475
476 Con los resultados obtenidos se puede concluir que la cantidad de camiones que se
477 asignen a un buque tiene relación directa con: la cantidad de grúas de muelle asignadas
478 al buque, la productividad de estas grúas y la distancia entre el muelle y las ubicaciones
479 de los contenedores en la ZA. Para el caso de estudio se consideraron grúas con un
480 rendimiento de 30 contenedores hora, un TCM de 100 hectáreas y localizaciones
481 dispersas por toda el área de almacenaje. Adicionalmente se diseñaron dos escenarios
482 que permitieron validar el modelo ya que en ambos escenarios los resultados fueron
483 similares.

484
485 Se ha comprobado que el modelo de simulación desarrollado es robusto, ya que
486 contempla situaciones que los modelos de optimización no suelen considerar debido a
487 su variabilidad, además permitió la validación de tres estrategias para la gestión del
488 transporte interno en una TCM. Teniendo en cuenta que este modelo no contempla un
489 balance en el uso de camiones, para futuras investigaciones este modelo de simulación
490 se puede integrar a un modelo de optimización que permita asignar y programar los
491 camiones según los criterios y políticas de los terminales de contenedores marítimos.
492

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport
in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.

DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537

6. Referencias

- Ahmed, E., Zayed, T., & Alkass, S. (2014, September). *Simulation model of yard truck double cycling to improve container terminal productivity*. In 16th International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistics Modelling and Simulation, Bordeaux, Francia.
- Ambrosino, D., Sciomachen, A., & Tanfani, E. (2004). Stowing a containership: the master bay plan problem. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(2), 81-99. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2003.09.002>
- Arango, C., Cortés, P., Muñuzuri, J., & Onieva, L. (2011). Berth allocation planning in Seville inland port by simulation and optimisation. *Advanced Engineering Informatics*, 25(3), 452-461. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.05.001>
- Arango, C., Cortés, P., Onieva, L., & Escudero, A. (2013). Simulation-optimization models for the dynamic berth allocation problem. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 28(10). <https://doi.org/10.1111/mice.12049>
- Beškovnik, B., & Twrđy, E. (2010). Planning organization and productivity simulation tool for maritime container terminals. *Transport*, 25(3).
- Caris, a., & Janssens, G. K. (2009). A local search heuristic for the pre- and end-haulage of intermodal container terminals. *Computers & Operations Research*, 36(10), 2763-2772. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.12.007>
- Chao, I. (2002). A tabu search method for the truck and trailer routing problem. *Computers & Operations Research*, 29(November 1999), 33-51. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054800000563>
- Corry, P., & Kozan, E. (2006). An assignment model for dynamic load planning of intermodal trains. *Computers & Operations Research*, 33(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.05.013>
- Das, S. K., & Spasovic, L. (2003). Scheduling material handling vehicles in a container terminal. *Production Planning & Control*, 14(7), 623-633. <https://doi.org/10.1080/09537280310001626278>
- Gharehgozli, A. H., Vernooij, F. G., & Zaerpour, N. (2017). A simulation study of the performance of twin automated stacking cranes at a seaport container terminal. *European Journal of Operational Research*, 261(1). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.037>
- Grunow, M., Günther, H.-O., & Lehmann, M. (2004). Dispatching multi-load AGVs in highly automated seaport container terminals. *OR Spectrum*, 26(2), 211-235. <https://doi.org/10.1007/s00291-003-0147-1>
- Günther, H-O., & Kap, H. (2005). *Container terminals and automated transport systems* (pp. 184-206). Berlin, Germany: Springer.
- Hansen, I. (2004). Automated shunting of rail container wagons in ports and terminal areas. *Transportation Planning and Technology*, 27(5), 385-401. <https://doi.org/10.1080/0308106042000280501>
- Ho, Y.-C., & Hsieh, P.-F. (2004). A machine-to-loop assignment and layout design methodology for tandem AGV systems with multiple-load vehicles. *International Journal of Production Research*, 42(4), 801-832. <https://doi.org/10.1080/00207540310001602874>
- Ho, Y.-C., & Chien, S.-H. (2006). A simulation study on the performance of task-determination rules and delivery-dispatching rules for multiple-load AGVs. *International Journal of Production Research*, 44(20), 4193-4222. <https://doi.org/10.1080/00207540500442401>

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.
DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

- 538 Jovanovic, R. (2018). Optimizing Truck Visits to Container Terminals with Consideration of
 539 Multiple Drays of Individual Drivers. *Journal of Optimization*, 2018, 1-8.
 540 <https://doi.org/10.1155/2018/5165124>
- 541 Jula, H., Dessouky, M., Ioannou, P., & Chassiakos, A. (2005). Container movement by trucks in
 542 metropolitan networks: modeling and optimization. *Transportation Research Part E: Logistics
 543 and Transportation Review*, 41(3), 235-259. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2004.03.003>
- 544 Jula, H., & Ioannou, P. A. (2002). Design , Simulation , and Evaluation of automated container
 545 terminals. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3(1), 12-26.
- 546 Kim, K. H., & Bae, J. W. (2004). A Look-Ahead Dispatching Method for Automated Guided Vehicles
 547 in Automated Port Container Terminals. *Transportation Science*, 38(2), 224-234.
 548 <https://doi.org/10.1287/trsc.1030.0082>
- 549 Lee, D.-H., Cao, J., & Shi, Q. (2007, October). *Analysis of the container terminal traffic with
 550 productivity constraints: A simulation approach*. In 14th World Congress on Intelligent
 551 Transport Systems. ITS America, Beijin, China.
- 552 Legato, P., Canonaco, P., & Mazza, R. M. (2009). Yard Crane Management by Simulation and
 553 Optimisation. *Maritime Economics & Logistics*, 11(1), 36-57.
 554 <https://doi.org/10.1057/mel.2008.23>
- 555 Liu, C. I., Jula, H., & Ioannou, P. A. (2001). A simulation approach for performance evaluation of
 556 proposed automated container terminals. In *IEEE Conference on Intelligent Transportation
 557 Systems, Proceedings, ITSC*.
- 558 Mattfeld, D. C., & Orth, H. (2006). The allocation of storage space for transshipment in vehicle
 559 distribution. *OR Spectrum*, 28(4), 681-703. <https://doi.org/10.1007/s00291-006-0051-6>
- 560 Nam, K.-C., Kwak, K.-S., & Yu, M.-S. (2002). Simulation study of container terminal performance.
 561 *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 128(3).
 562 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2002\)128:3\(126\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2002)128:3(126))
- 563 Namboothiri, R., & Erera, A. L. (2008). Planning local container drayage operations given a port
 564 access appointment system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation
 565 Review*, 44(2), 185-202. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2007.07.004>
- 566 Nguyen, V. D., & Kim, K. H. (2009). A dispatching method for automated lifting vehicles in
 567 automated port container terminals. *Computers & Industrial Engineering*, 56(3), 1002-1020.
 568 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.009>
- 569 Nicoletti, L., Chiurco, A., Arango, C., & Diaz, R. (2014). Hybrid approach for container terminals
 570 performances evaluation and analysis. *International Journal of Simulation and Process
 571 Modelling*, 9(1-2). <https://doi.org/10.1504/IJSPM.2014.061464>
- 572 Nishimura, E., Imai, A., & Papadimitriou, S. (2005). Yard trailer routing at a maritime container
 573 terminal. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(1), 53-76.
 574 <https://doi.org/10.1016/j.tre.2003.12.002>
- 575 Ramírez-Nafarrate, A., González-Ramírez, R. G., Smith, N. R., Guerra-Olivares, R., & Voß, S.
 576 (2017). Impact on yard efficiency of a truck appointment system for a port terminal. *Annals of
 577 Operations Research*, 258(2), 195-216.
- 578 Scheuerer, S. (2006). A tabu search heuristic for the truck and trailer routing problem.
 579 *Computers & Operations Research*, 33(4), 894-909. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.08.002>
- 580 Silberholz, M. B., Golden, B. L., & Baker, E. K. (1991). Using simulation to study the impact of
 581 work rules on productivity at marine container terminals. *Computers and Operations Research*,
 582 18(5). [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(91\)90020](https://doi.org/10.1016/0305-0548(91)90020)
- 583 Soriguera, F., Espinet, D., & Robuste, F. (2006). A simulation model for straddle carrier
 584 operational assessment in a marine container terminal. *Journal of Maritime Research*, 3(2), 19-
 585 34.

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport
 in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.
 DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>

- 586 Steenken, D., Voß, S., & Stahlbock, R. (2004). Container terminal operation and operations
587 research - a classification and literature review. *OR Spectrum*, 26(1), 3-49.
588 <https://doi.org/10.1007/s00291-003-0157-z>
589 Stahlbock, R., & Voß, S. (2007). Operations research at container terminals: a literature update.
590 *OR Spectrum*, 30(1), 1-52. <https://doi.org/10.1007/s00291-007-0100-9>
591 Vis, I. F. a., & Harika, I. (2004). Comparison of vehicle types at an automated container terminal.
592 *OR Spectrum*, 26(1), 117-143. <https://doi.org/10.1007/s00291-003-0146-2>
593 World Bank. (2019). *Doing Business 2019: Training for Reform*. Washington, USA: World Bank.
594 <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1326-9>
595 Yan, W., Zhu, Y., & He, J. (2014). Performance Analysis of a New Type of Automated Container
596 Terminal. *International Journal of Hybrid Information*, 7(2), 237-248.
597 Yang, C. H., Choi, Y. S., & Ha, T. Y. (2004). Simulation-based performance evaluation of transport
598 vehicles at automated container terminals. *OR Spectrum*, 26(2), 149-170.
599 <https://doi.org/10.1007/s00291-003-0151-5>
600 Zehendner, E., Rodriguez-Verjan, G., Absi, N., Dauzère-Pérès, S., & Feillet, D. (2013). Optimized
601 allocation of straddle carriers to reduce overall delays at multimodal container terminals.
602 *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 27(2-3) 300-330. [https://doi.org/10.1007/s10696-](https://doi.org/10.1007/s10696-013-9188-1)
603 [013-9188-1](https://doi.org/10.1007/s10696-013-9188-1)
604 Zhen, L., Yu, S., Wang, S., & Sun, Z. (2019). Scheduling quay cranes and yard trucks for unloading
605 operations in container ports. *Annals of Operations Research*, 273(1-2), 455-478.
606 Zhou, P.-F., Guo, Z.-J., & Song, X.-Q. (2007, October). *Simulation study on container terminal*
607 *performance*. In International Conference on Management Science and Engineering. Lille,
608 France. <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2006.313837>

¿How to quote this article?

Arango-Pastrana, C. A. (2019). A simulation model for the management for containers internal transport in a seaport. *Cuadernos de Administración*, 35(63), 96-109.
DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v35i64.7705>