

## **ASIGNACIÓN DE LOCALIZACIONES DE ALMACENAMIENTO CONSIDERANDO DISTANCIAS Y TIEMPOS DE ESTADÍA ENTRE PEDIDOS**

**Marcela C. González-Araya**

Departamento de Modelación y Gestión Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca. Merced  
N° 437, Curicó, Chile.  
mgonzalez@utalca.cl

**Rodrigo Vergara Cisternas**

Programa de Magister en Gestión de Operaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca.  
Merced N° 437, Curicó, Chile.  
rodrigo.vergara.cist@gmail.com

**Rosa González Ramírez**

Escuela de Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.  
Av. Brasil 2241, Piso 5. Valparaíso. Chile.  
rosa.gonzalez@ucv.cl

**Luis G. Acosta Espejo**

Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María  
Av. Santa María 6400, Vitacura, Santiago, Chile  
luis.acosta@usm.cl

### **RESUMEN**

Se presenta un modelo de optimización para asignar localizaciones de almacenamiento, el cual asume la política por tiempo de estadía. De esta manera, el modelo minimiza los costos asociados al transporte de las unidades a su localización y los costos de penalización por almacenar juntas unidades de pedidos con tiempos de estadía diferentes y por almacenar separadas unidades de un mismo pedido. El modelo fue aplicado para evaluar las asignaciones de un almacén de una empresa manufacturera de cartulinas, demostrando su utilidad e impacto en la reducción de costos.

**PALAVARAS CLAVE. SLAP, Almacenamiento, Programación Lineal Entera Mixta.**

### **ABSTRACT**

An optimization model, that assumes a duration stay policy, is developed for assigning storage locations. The model minimizes costs of travel distances for storing units of load and penalty costs for storing together units of different orders and separated units of the same order. An application of this model was carried out in a warehouse from a cardboard company, showing its utility and impact in the reduction costs.

**KEYWORDS. SLAP, Warehousing, Mixed Integer Linear Programming.**

## 1. Introdução

El almacenamiento corresponde a la parte del sistema logístico de una empresa que guarda productos (materia prima, partes, productos en proceso, productos terminados), el cual se encuentra entre el punto de origen y el punto donde son consumidos. Esta actividad logística provee información para la gestión sobre el estado, condición y disposición de los elementos que están siendo guardados (Lambert *et al.*, 1998).

En la literatura, varios autores se refieren a la importancia del almacenamiento. Al respecto, Chen *et al.* (2010) señalan que los almacenes tienen gran importancia, ya que una buena gestión de ellos implica una mejora de los tiempos de entrega de los pedidos y una disminución de los costos logísticos. Además, Gu *et al.* (2007) sostienen que "...las operaciones logísticas de la cadena de abastecimiento marcan la diferencia en el entorno global y de alta competitividad para las empresas, en particular, el funcionamiento de los almacenes, constituye un factor importante para lograr una ventaja competitiva...". Según Ballou (2004), el "...almacenamiento y manejo alcanzan, según estimaciones, hasta un 20% del costo de distribución física de una empresa...". Esto se debe a que la localización de las existencias en el almacén afecta directamente a los costos de manejo de productos de todos los bienes que se mueven por el almacén.

Las principales actividades de almacenamiento son: recepción, almacenamiento, recolección y embarque (Van den Berg y Zijm, 1999). Debido a la complejidad de estas actividades, en la literatura han sido propuestos varios modelos para apoyar las decisiones relacionadas con ellas, los cuales son discutidos en de Koster *et al.* (2007), Gu *et al.* (2007), Cormier (2005) y Van den Berg y Zijm (1999). Estos modelos buscan reducir los costos logísticos, ya que el almacenamiento y el transporte son factores que impactan fuertemente en ellos (Gunasekaran, 2003, Ballou, 2004).

En relación a la actividad de almacenamiento, una decisión común se refiere a dónde localizar las unidades de carga que llegan al almacén. Este problema se conoce como el problema de asignación de localizaciones de almacenamiento, más conocido en la literatura como SLAP (abreviación del inglés *Storage Location Assignment Problem*), el cual consiste en asignar los productos que ingresan a un almacén a una localización de almacenamiento, de manera de reducir los costos de manipulación y mejorar la utilización del espacio (Van der Berg y Zijm, 1999, Chen *et al.*, 2010). Sin embargo, para realizar esta asignación, se necesita establecer los criterios o políticas de almacenamiento que guíen la decisión. Varias de las políticas posibles de establecer se encuentran descritas en Gu *et al.* (2010), de Koster *et al.* (2007), Gu *et al.* (2007) y Cormier (2005), las que se definen como un conjunto de reglas que determinan las localizaciones de los productos dentro del almacén (Goetschalckx y Ratliff, 1990). De esta manera, se puede tener políticas rigurosas, con localizaciones ya determinadas (*dedicated storage*), o bien, más flexibles, con asignaciones aleatorias (*randomised storage*). Cada una de estas políticas se puede adecuar de mejor forma a diferentes tipos de sistemas de almacenamiento, condiciones de la demanda y medidas de desempeño a optimizar. Las políticas más comunes son: almacenamiento por volumen, basado en clases, por familia de productos, por tiempo de estadía, establecido o dedicado, aleatorio. La descripción de estas políticas puede ser encontrada en Gu *et al.* (2007) y de Koster *et al.* (2007).

En este trabajo de investigación se formula un modelo de optimización para la asignación de localizaciones de pedidos en un almacén, el cual asume la política por tiempo de estadía. Esta política busca localizar juntas, las unidades de carga que tienen el mismo tiempo de duración de estadía en el almacén. Este supuesto se debe a que, en la empresa en la cual se enmarca el modelo propuesto, requiere que los pedidos con tiempo de estadía similar, se almacenen lo más cerca posible, con el fin de despejar zonas contiguas al mismo tiempo y reducir los tiempos de búsqueda de los pedidos. Los autores que describieron por primera vez esta política fueron Goetschalckx y Ratliff (1990). En su trabajo, estos autores realizaron experimentaciones

computacionales comparando los resultados de esta política con otras políticas de almacenamiento.

El modelo de optimización propuesto permite establecer las localizaciones de productos en un almacén, de manera de minimizar los costos asociados al transporte de las unidades a la localización de almacenamiento y los costos de penalización por almacenar juntas, unidades con tiempos de estadía diferentes, y por almacenar separadas, unidades de un mismo pedido. Es importante notar que hasta ahora, en los modelos de almacenamiento, no se han considerado juntos estos criterios.

En la siguiente sección se presenta la formulación matemática del modelo desarrollado. En la sección 3 se muestran los principales resultados de la aplicación del modelo a un almacén de una empresa manufacturera de cartulinas localizada en Chile. Finalmente, en la sección 4, se exponen las principales conclusiones de esta investigación.

## 2. Formulación del Modelo

El modelo desarrollado entrega solución al problema de almacenamiento de una empresa manufacturera de cartulinas, de manera de minimizar los costos involucrados en el proceso de almacenamiento, siendo éstos: costos de transporte de los pedidos desde del lugar de recepción hasta las localizaciones de almacenaje, costos de penalización por almacenar juntas unidades de pedidos con tiempos de estadía diferentes y costos de penalización por no dejar las unidades de un pedido cercanas entre sí.

A continuación se describen los conjuntos, índices, parámetros y variables de decisión usados en la formulación matemática del modelo.

### Conjuntos e Índices

$P$ : Conjunto de localizaciones del almacén, donde  $i$  y  $l \in P$ .

$J$ : Conjunto de pedidos, donde  $j \in J$ .

$K$ : Conjunto de plantas industriales donde pueden fabricarse las unidades de un pedido,  $k \in K$ .

### Parámetros

$C_i$  = Volumen máximo para almacenamiento de cada localización  $i$ ,  $i \in P$ , medido en  $m^3$ .

$V_i^0$  = Volumen inicial ocupado en la localización  $i$ ,  $i \in P$ , al comienzo del periodo de planificación. Se mide en  $m^3$ .

$DB_{il}$  = Distancia entre las localizaciones  $i$  y  $l$ , donde  $i \in P$  y  $l \in P$ , medida en metros.

$D_{ij}$  = Distancia entre la localización  $i$ ,  $i \in P$ , y el punto de llegada del pedido  $j$ ,  $j \in J$ . Considera la distancia de ida y vuelta y se mide en metros.

$CD$  = Costo de la distancia recorrida por los trabajadores del almacén. Se expresa en \$/metro y se calcula en base en los costos asociados al traslado en el almacén.

$CT$  = Costo de penalización por almacenar juntas unidades de pedidos con diferentes tiempos de estadía. Se expresa en \$/día y se calcula en base a los costos asociados a la remanipulación de unidades (*rehandle*) y a los tiempos de búsqueda de un pedido en el almacén.

$Vol_j$  = Volumen de cada unidad del pedido  $j$ ,  $j \in J$ , expresado en  $m^3$ .

$N_{jk}$  = unidades del pedido  $j$ ,  $j \in J$ , provenientes de la planta  $k$ ,  $k \in K$ .

$m_j$  = Cantidad máxima de localizaciones que puede ocupar el pedido  $j$ ,  $j \in J$ . Este valor debe ser lo suficientemente grande para que no falten localizaciones para el pedido  $j$ ,  $j \in J$ , en caso contrario, la solución del modelo no sería factible.

$z_i$  = Porcentaje del volumen total de la localización  $i$ ,  $i \in P$ , disponible para almacenamiento. Este parámetro puede tomar valores entre 0 y 1, y se utiliza para restringir la capacidad de las localizaciones en los casos en que se dañe o se inutilice, total o parcialmente, la localización.

$t_j$  = Tiempo de estadía del pedido  $j$ ,  $j \in J$ , en el almacén. Se mide en días.

$T_i$  = Tiempo de estadía de la localización  $i$ ,  $i \in P$ , se expresa en días. La localización  $i$  podría tener varias unidades de diferentes pedidos, con diferentes tiempos de estadía. Por lo tanto,  $T_i$  se determina calculando la moda de los tiempos de estadía de las unidades en la localización  $i$ . Si no fuera posible estimar la moda, se usa la moda de las localizaciones más cercanas a la localización  $i$ .

### VARIABLES DE DECISIÓN

$x_{ijk}$  = cantidad de unidades a almacenar en la localización  $i$ ,  $i \in P$ , del pedido  $j$ ,  $j \in J$ , proveniente de la planta  $k$ ,  $k \in K$ .

$y_{ij} \in \{0,1\}$ , donde  $y_{ij}$  es igual a 1 si se almacena en la localización  $i$ ,  $i \in P$ , el pedido  $j$ ,  $j \in J$ ; es igual a cero en caso contrario.

$P_i$  = Máxima diferencia entre el tiempo de estadía de cada pedido almacenado en la localización  $i$ ,  $i \in P$ , y la moda del tiempo de estadía de la localización  $i$ ,  $i \in P$ . Este valor es positivo cuando un pedido tiene un tiempo de estadía mayor a la moda (mayoría de los pedidos localizados en  $i$ ).

$E_i$  = Máxima diferencia entre la moda del tiempo de estadía de la localización  $i$ ,  $i \in P$ , y el tiempo de estadía de cada pedido almacenado en la localización  $i$ ,  $i \in P$ . Este valor es positivo cuando un pedido tiene un tiempo de estadía menor a la moda (mayoría de los pedidos localizados en  $i$ ).

$u_{il} \in \{0,1\}$ , donde  $u_{il}$  es igual a 1 si en las localizaciones  $i$  y  $l$ ,  $i \in P$ ,  $l \in P$ , se almacenan unidades provenientes de un mismo pedido; es igual a cero en caso contrario.

A continuación se presenta la formulación matemática del modelo propuesto:

$$\text{Minimizar } z = CD \sum_{i \in P} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} D_{ij} x_{ijk} + CT \sum_{i \in P} (P_i + E_i) + \frac{1}{2} CD \sum_{i \in P} \sum_{l \in P} DB_{il} u_{il} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$V_i^0 + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} Vol_j x_{ijk} \leq z_i C_i, \quad i \in P, \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} N_{jk} \leq \sum_{i \in P} \sum_{k \in K} x_{ijk}, \quad j \in J, \quad (3)$$

$$x_{ijk} \leq N_{jk} y_{ij}, \quad i \in P, j \in J, k \in K, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in P} y_{ij} \leq m_j, \quad j \in J, \quad (5)$$

$$y_{ij} + y_{lj} \leq 1 + u_{il}, \quad i \in P, l \in P, i \neq l, j \in J, \quad (6)$$

$$P_i \geq (t_j - T_i) y_{ij}, \quad i \in P, j \in J, \quad (7)$$

$$E_i \geq (T_i - t_j) y_{ij}, \quad i \in P, j \in J, \quad (8)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in P, j \in J, \quad (9)$$

$$u_{il} \in \{0,1\}, \quad i \in P, l \in P, i \neq l, \quad (10)$$

$$P_i, E_i \geq 0, \quad \forall i \in P, \quad (11)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad i \in P, j \in J, k \in K. \quad (12)$$

La función objetivo (1) está compuesta por tres tipos de costos, los que se busca minimizar, siendo éstos: los costos de transporte del lugar de llegada de los pedidos al almacén, hasta las localizaciones de almacenaje de cada pedido. El segundo término minimiza los costos asociados al desvío entre los tiempos de estadía de las unidades de los pedidos almacenados en una misma localización y el tiempo de estadía estimado para la mayoría de los pedidos en esa localización. De esta forma, se minimizan los máximos desvíos de los tiempos, para cada localización del almacén. El tercer término minimiza el costo asociado a las distancias entre las unidades de un mismo pedido que se almacenan en diferentes localizaciones. De esta forma, se busca que las unidades de un mismo pedido queden lo más cercanas posible.

La restricción (2) corresponde a la restricción de capacidad de cada localización del almacén, donde el volumen inicialmente ocupado en la localización más lo que se va a almacenar en ella, debe ser menor o igual que la capacidad de la localización, por el porcentaje de la capacidad disponible o utilizable.

En la restricción (3) se establece que la suma de unidades producidas en cada planta, para un dado pedido, sea menor o igual a la suma a las unidades del pedido a almacenar en la localización  $i$ , provenientes de la planta  $k$ .

La restricción (4) establece que las unidades que se almacenan en una localización  $i$  del pedido  $j$ , provenientes de la planta  $k$ , deben ser menor o igual a lo que está planificado producir de ese pedido, en la planta  $k$ , si es que se almacena el pedido  $j$  en la localización  $i$ .

La restricción (5) determina que la cantidad de localizaciones  $i$  a asignar a un pedido  $j$  debe ser menor o igual que las localizaciones disponibles para el pedido  $j$ . Esta restricción debe ser definida para cada pedido.

La restricción (6) determina que la variable binaria  $u_{il}$  sea igual a uno cuando las localizaciones  $i$  y  $l$  almacenan unidades de un mismo pedido  $j$ . De esta forma, el modelo reconoce cuando un pedido se almacena en más de una localización y lo penaliza en la función objetivo. Es importante destacar que no es necesario generar otras restricciones para reconocer si un pedido es almacenado en más de una localización, ya que, dado que la función objetivo tiene como criterio minimizar los costos,  $u_{il}$  tenderá a tomar valor igual a cero.

Las restricciones (7) y (8) en conjunto establecen que la mayor diferencia ( $P_i$  y  $E_i$ ) entre los tiempos de estadía de las unidades del un pedido  $j$  ( $t_j$ ) y las unidades almacenadas en la localización  $i$  ( $T_i$ ), debe ser la mínima posible, siempre y cuando el pedido  $j$  sea almacenado en la localización  $i$ . De esta forma,  $P_i$  será el máximo desvío de tiempo de los pedidos almacenados en una localización  $i$ , cuando existen pedidos con un tiempo de estadía mayor al estimado para la mayoría de los pedidos en esa localización, y  $E_i$  será el máximo desvío de tiempo de los pedidos almacenados en una localización  $i$ , cuando existen pedidos con un tiempo de estadía menor al estimado para la mayoría de los pedidos en esa localización.

Las restricciones (9), (10), (11) y (12) corresponden a las restricciones sobre la naturaleza de las variables.

En la siguiente sección se presentan los principales resultados obtenidos al aplicar el modelo a un almacén de una empresa chilena manufacturera de cartulinas.

### 3. Principales Resultados

El modelo propuesto es aplicado para asignar pedidos en un almacén perteneciente a una empresa manufacturera de cartulinas, localizada en Chile. En esta empresa existen sólo dos formatos para los productos que fabrica: pilas y rollos. Sin embargo, las dimensiones de estos formatos no son estándar, variando según la capacidad y dimensiones de la maquinaria involucrada en el proceso.

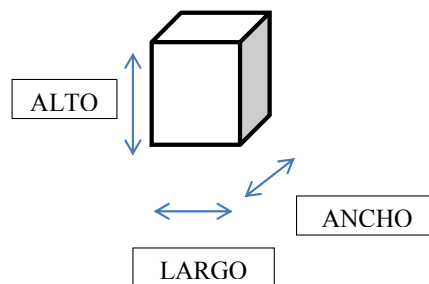
El modelo ha sido usado para asignar de localizaciones de las pilas dentro del almacén de producto terminado, pues éstas representan el 59 por ciento de la producción de la empresa. El otro 41 por ciento corresponde a la fabricación de rollos. Las pilas están formadas por pliegos de

cartulinas, colocados uno encima de otro, teniendo como base un pallet de madera, y siendo envueltas con un film de polietileno (ver Figura 1).



**FIGURA 1.** TRANSPORTE DE UNA PILA DE PLIEGOS DE CARTULINA POR EL ALMACÉN

Las pilas pueden tener diferentes dimensiones, pero dentro de un intervalo en el cual pueden variar. De esta manera, el ancho de una pila puede variar entre 400 y 1.000 mm, el largo puede variar entre 400 y 1.480 mm y el alto puede variar entre 400 y 1.800 mm. Para una mejor comprensión de los intervalos de las dimensiones, se presenta la Figura 2.



**FIGURA 2.** DIMENSIONES DE UNA PILA DE PLIEGOS DE CARTULINA

En el almacén de productos terminados existe una zona que posee 19 localizaciones (bahías), las cuales son utilizadas para almacenar pilas de cartulinas destinadas a clientes nacionales. Es en este almacén donde se aplica el modelo para la asignación de pedidos. Las dimensiones de las bahías del almacén se presentan en la Tabla 1.

**TABLA 1:** DIMENSIONES Y ÁREAS DE LAS BAHÍAS

Bahía	Ancho (m)	Largo (m)	Área(m <sup>2</sup> )
B1	2,86	6,72	19,21
B2	2,86	6,72	19,21
B3	2,86	6,72	19,21
B4	2,86	6,72	19,21
B5	2,86	6,72	19,21
B6	2,86	6,72	19,21
B7	2,86	6,72	19,21
B8	5	25,29	126,45
B9	5	25,29	126,45
B10	5	25,29	126,45
B11	5	25,29	126,45
B12	5	7,09	35,45
B13	5	7,09	35,45
B14	5	7,09	35,45
B15	5	7,09	35,45
B16	5	18,7	93,5
B17	5	18,7	93,5
B18	5	18,7	93,5
B19	5	18,7	93,5

En relación a los tiempos de estadía de los pedidos, cada uno tiene una fecha de despacho determinada. Esta fecha de despacho es generada por los encargados de la Gerencia Comercial, dependiendo de cuándo deben ser entregados los productos al cliente. En el caso de los clientes nacionales, los pedidos deben ser despachados en el mismo día en que se recibe el requerimiento. Se debe notar que las distancias entre el almacén y los clientes nacionales no son muy largas. Por otro lado, para la empresa es prioritario un despacho rápido desde el almacén al cliente, con el fin de mantener siempre abastecido al cliente.

En el último tiempo, en la empresa se han incrementado los retrasos de los despachos, generando un aumento de los reclamos de los clientes por esta causa. Por otro lado, la espera de los camiones para llevar los productos a los clientes se ha hecho más larga y, por lo tanto, más tediosa. Además, las metas internas de despacho no se están cumpliendo y las bodegas de productos están llegando al límite de su capacidad. Esto se debe, principalmente, a que las unidades a almacenar son localizadas según el criterio y experiencia de los encargados del almacén, tratando de asignar los productos que pertenecen a un mismo pedido lo más cerca posible. Esta actividad resulta compleja cuando la empresa envía las unidades de un pedido de manera separada al almacén. También se observa frecuentemente que los trayectos dentro del almacén no siguen ninguna política y se recolectan según el criterio del operario. Si bien, en el almacén hay un sistema de radiofrecuencia, éste sólo sirve para saber el lugar de almacenamiento de los diferentes pedidos.

Además de las dificultades para atender a los clientes, en el almacén también existen otros problemas, tales como: deterioro de productos, excesivos tiempos búsqueda y movimientos ineficientes, prácticas riesgosas para la seguridad de los operarios, espacio disponible subutilizado, entre otros. Todos estos problemas causan demoras en la recolección de pedidos.

El modelo fue aplicado utilizando datos de tres escenarios diferentes ocurridos en el almacén. El primer escenario corresponde a un turno con pocos pedidos a almacenar. El segundo escenario corresponde a un turno promedio de trabajo. Finalmente, el tercer escenario corresponde a un turno con muchos pedidos a almacenar. Los tres escenarios fueron seleccionados a partir de una base de datos de la empresa y sucedieron en los últimos 6 meses de operación.

En el primer escenario existen 4 pedidos a almacenar en las 19 localizaciones descritas en la Tabla 1, los que representan  $89,62 \text{ m}^3$ . En este escenario, las bahías tienen una capacidad disponible de  $236 \text{ m}^3$ . En el segundo escenario, existen 10 pedidos a almacenar, con un volumen de  $319,51 \text{ m}^3$ , en bahías con capacidad disponible de  $433 \text{ m}^3$ . Finalmente, en el tercer escenario existen 18 pedidos a almacenar, con un volumen de  $739,9 \text{ m}^3$ , en bahías con capacidad disponible de  $1.081 \text{ m}^3$ .

Para la resolución de los escenarios, se utiliza ILOG-OPLStudio, con CPLEX versión 12.3, en un computador con procesador Intel(R) Core(TM) i5-2450M, memoria RAM de 8 Gb y disco duro 750 Gb. En la Tabla 2 se presenta, para los tres escenarios, tiempo computacional y el valor óptimo. Además, se muestra el costo real en que incurrió el almacén en cada uno de los escenarios y el porcentaje de reducción de costos si se hubiera adoptado la solución óptima.



**TABLA 2: COSTO MÍNIMO PARA LOS TRES ESCENARIOS VERSUS EL COSTO OBSERVADO Y TIEMPOS COMPUTACIONALES**

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Tiempo Computacional	1,34 seg.	12,03 seg.	288,46 seg.
Costo Mínimo Óptimo	\$ 40.908	\$ 157.062	\$ 255.976
Costo Observado	\$ 48.400	\$ 203.000	\$ 342.000
Porcentaje de Reducción de Costos	15%	23%	25%

En los tres escenarios, el modelo llega a la solución óptima, aunque en diferentes tiempos computacionales. Como se observa en la Tabla 2, a medida que aumenta el número de pedidos a localizar, aumenta el costo mínimo y el tiempo computacional. El escenario más complejo (escenario 3) fue resuelto en menos de 5 minutos, haciendo factible la implementación del modelo como herramienta de apoyo para el jefe de almacén, quien tiene a cargo la planificación del almacenamiento.

Al comparar el costo mínimo obtenido con el modelo y el costo real, se observa que la solución óptima permite un ahorro de 15%, 23% y 25% para el escenario 1, 2 y 3, respectivamente. El promedio de esta reducción de costos es de aproximadamente 21%.

La reducción en los costos se debe a que la solución óptima del modelo permite que un mayor número de unidades de un mismo pedido queden localizadas en bahías contiguas.

## 5. Conclusiones

En esta investigación se presenta un modelo de optimización desarrollado para establecer las localizaciones de productos en un almacén, con el fin de minimizar los costos asociados a la facilidad de recuperar y gestionar los pedidos. La política adoptada en el modelo para la asignación de las unidades es la de tiempo de estadía.

Al aplicar el modelo a tres situaciones reales de un almacén de una empresa manufacturera de cartulinas, se obtuvo un ahorro de aproximadamente 21 por ciento en los costos diarios de operación. Además, la resolución del modelo para el caso más complejo demoró menos de cinco minutos, a pesar de ser un problema combinatorio. Esto muestra que el modelo puede ser aplicado en la empresa para tomar decisiones operativas de almacenamiento, debido al bajo tiempo computacional que demanda resolver la situación más compleja que ésta tiene.

Es importante notar que la política por tiempo de estadía junto con la minimización de las distancias para almacenar un pedido, no habían sido formuladas anteriormente en la literatura del área.

Finalmente, se deben realizar experimentaciones computacionales, para determinar hasta que tamaño de instancias, el modelo puede ser resuelto en un tiempo computacional razonable (por ejemplo, alrededor de 60 minutos).

## Referencias

- Ballou, R.**, *Logística, Administración de la Cadena de Suministro*, 5ª Edición, Prentice Hall, 2004.
- Chen, L., Langevin, A. e Riopel, D.** (2010). The Storage Location Assignment and Interleaving Problem in an Automated Storage/Retrieval System with Shared Storage, *International Journal of Production Research*, 48 (4), 991–1011.
- Chen, L. e Lu, Z.** (2012). The Storage Location Assignment Problem for Outbound Containers in a Maritime Terminal, *International Journal of Production Economics*, 135 (1), 73–80.
- Cormier, G.**, Operational research methods for efficient warehousing, em Langevin A. e



Riopel D. (Eds.), *Logistics Systems: Design and Optimization*, Springer, New York, 93–122, 2005.

**De Koster, R., Le-Duc, T. e Roodbergen K. J.** (2007). Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review, *European Journal of Operational Research*, 182, 481–501.

**Goetschalckx, M. e Ratliff, H. D.** (1990). Shared Storage Policies based on the Duration Stay of Unit Loads, *Management Science*, 36(9), 1120–1132.

**Gu, J., Goetschalckx, M. e McGinnis, L. F.** (2007). Research on Warehouse Operation: A Comprehensive Review, *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21.

**Gu, J., Goetschalckx, M. e McGinnis, L. F.** (2010). Research on Warehouse Design and Performance Evaluation: A Comprehensive Review, *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539–549.

**Gunasekaran, A.** (2003). Supply Chain Management: Theory and Applications, *European Journal of Operational Research*, 159(2), 265–268.

**Lamber, D., Stock, J. R. e Ellram, L. M.**, *Fundamentals of Logistics Management*, McGraw-Hill Publishing, USA, 1998.

**Van den Berg, J. P. e Zijm, W. H.** (1999). Models for Warehouse Management: Classification and Examples, *International Journal of Production Economics*, 59, 519–528.