

DECISIONES FUNDAMENTALES PARA ESTUDIAR EL PROCESO DE ALISTAMIENTO DE PEDIDOS: REVISIÓN DE LITERATURA

FUNDAMENTAL DECISIONS TO STUDY PICKING
PROCESS: LITERATURE REVIEW

**AUTOR**

CARLOS EDUARDO DÍAZ BOHÓRQUEZ
Magister en Ingeniería Industrial
* Universidad Industrial de Santander
Profesor de planta
Escuela de Estudios Industriales y
Empresariales
cedizabo@uis.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

JULIÁN ANDRÉS CADENA HERNÁNDEZ
Magister (c) en Ingeniería Industrial
** Universidad Industrial de Santander
Estudiante
Escuela de Estudios Industriales y
Empresariales
juank2429@hotmail.com
COLOMBIA

***INSTITUCIÓN**

Universidad Industrial De Santander
UIS
Institución pública.
Calle 9 Carrera 27, Ciudad Universitaria,
Bucaramanga
rectoria@uis.edu.co
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: La revisión que se presenta en este documento fue el resultado de una búsqueda en la literatura de alternativas de reducción de tiempos para el proceso de alistamiento de pedidos. Los conceptos y conocimiento adquirido permitieron direccionar las mejoras que serán implementadas en el proyecto raíz que origina esta investigación, desarrollado a través de una cofinanciación entre la empresa COMERTEX S.A. y Colciencias (Convocatoria No. 502 de 2010), el cual pretende optimizar el desempeño en la cadena de suministro de esta organización representativa del sector textil colombiano. Algunos ejemplos concretos sobre los cuales se está profundizando en el proyecto, son la creación de un algoritmo de ruteo y otro de conformación de lotes para disminuir los tiempos de alistamiento de pedidos. El proyecto de investigación se denomina "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMOS Y HERRAMIENTAS CONCEPTUALES Y TECNOLÓGICAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO LOGÍSTICO DE LA EMPRESA COMERTEX S.A." (Contrato 727-2011) y es desarrollado por el grupo OPALO -Optimización y Organización de Sistemas Productivos, Administrativos y Logísticos- de la escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la UIS.

RECEPCIÓN: Julio 2 de 2013

ACEPTACIÓN: Octubre 22 de 2013

TEMÁTICA: Gestión de calidad de proyectos y procesos en general

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Investigación Científica e Innovación

RESUMEN ANALÍTICO

El alistamiento de pedidos es un proceso cuyo desempeño con altos estándares de eficiencia puede ser una ventaja competitiva para las organizaciones. Se compone de actividades operativas que inciden en aspectos como los costos logísticos y las cargas de trabajo. Pero en su operar cotidiano, subyacen desafíos estratégicos de las organizaciones, como responder a los niveles de servicio demandados por los clientes, afrontar cambios en el mercado y características de los pedidos, o lograr mayor calidad en las entregas. Por su importancia operativa y estratégica, es un proceso que debe ser examinado, pero mejorar su eficiencia no es una tarea sencilla. Las políticas de almacenamiento, de conformación de lotes y de ruteo, son las tres decisiones más estudiadas para disminuir los tiempos de alistamiento. Debido a que están bajo el control de las organizaciones, redefinir estas políticas tiene un alto grado de flexibilidad respecto otros factores que inciden en el proceso (por ejemplo, cambios en el layout del almacén) y no demanda altas inversiones en capital de trabajo. Estas políticas y otros aspectos de interés mencionados en la literatura que tiene como objetivo el estudio del alistamiento de pedidos se explican en este artículo. Además, se destaca brevemente, el distanciamiento entre la academia y la práctica al estudiar el proceso de alistamiento de pedidos, pues es importante destacar que el aprendizaje que dio como resultado esta revisión de literatura ha sido insumo para continuar con un trabajo de investigación que se está desarrollando para mejorar el desempeño logístico de una empresa colombiana del sector textil.

PALABRAS CLAVES: Alistamiento de pedidos, Almacén, Conformación de lotes, Políticas de ruteo, Políticas de almacenamiento.

ANALYTICAL SUMMARY

Picking process performance with high efficiency levels can be an organizations competitive advantage. It is composed by operative activities that influence issues like logistics costs or workload. But in process daily operation, underlie strategic challenges of organizations, such as attending level services demanded for customers, deal with market changes and orders characteristics, or deliveries quality. For its operational and strategic importance, is a process that must be examined, but improving its efficiency is not a simple task. Storage, batching and routing policies are the three most studied decisions to reduce the picking process time. Because they are under control of organizations, redefine these policies have a high degree of flexibility respect to other factors that influence the process (for example, changes in the warehouse layout) and does not require high investments in working capital. These policies and other interests facts mentioned in the literature about picking process are explained in this article. Furthermore, briefly highlights the gap between academia and practice to study the picking process, so it is important to note that the resulting learning from this literature review has been input to continue a research project that is being developed for improve logistics performance of a Colombian organization from textile sector.

KEYWORDS: Picking process, Warehouse, Batching, Routing, Storage.

INTRODUCCIÓN.

La preparación o alistamiento de pedidos representa una porción importante de los costos de almacenamiento. Sin embargo al estudiar este problema, ¿debería ser un objetivo primordial de las organizaciones que operan con almacenes disminuir los costos de alistamiento de pedidos para impactar los números del estado de

pérdidas y ganancias? El proceso tiene implicaciones misionales y estratégicas que podrían ir en contravía con una reducción de costos, como atender los pedidos bajo niveles de servicio estipulados. Incluso, realizar inversiones en capital de trabajo en los sistemas de preparación de pedidos podría ser determinante para cumplir con los requerimientos de los clientes.

En manufactura y en distribución, el alistamiento de pedidos se ha convertido en un proceso cada vez más importante y complejo. En manufactura porque los tamaños de los lotes cada vez son más pequeños o por la personalización requerida de los pedidos y productos. En distribución porque las compañías recientemente tienden a aceptar las órdenes tarde con una necesidad de pronta respuesta, lo que demanda reducir los tiempos de alistamiento para cumplir con los requerimientos de los clientes [10].

De Koster, Roodbergen y Van Voorden [9] señalan que la eficiencia el alistamiento de pedidos depende de factores que son difíciles de cambiar, como el sistema de almacenamiento, el layout o el sistema de preparación de pedidos. Pero destacan que existen tres factores más sencillos de alterar para disminuir los desplazamientos y los tiempos de alistamiento: (1) la política de almacenamiento (definir la ubicación de los productos), (2) la política de ruteo (secuencia de recogida de los productos) y (3) la conformación de lotes (agregar pedidos para recogerlos en un solo tour de recolección). Literatura acerca de las anteriores y otras decisiones que afectan la preparación de pedidos será revisada en este artículo.

En la sección 1 se describe la importancia del alistamiento de pedidos en los almacenes. La sección 2 describe los factores más incidentes en el proceso, y la metodología común para estudiar los problemas asociados al mismo. La tercera sección describe las políticas más estudiadas en la literatura de almacenes para mejorar la eficiencia del proceso de alistamiento de pedidos. La cuarta sección brevemente, describe el distanciamiento entre los modelos estudiados para mejorar el proceso de alistamiento de pedidos y la práctica. Por último se presentan las conclusiones del artículo.

1. IMPORTANCIA DEL PROCESO DE ALISTAMIENTO DE PEDIDOS.

De Koster, Le Duc y Zaerpour [11] definen el alistamiento de pedidos como el proceso de recuperación de productos de la zona de almacenamiento en respuesta a una petición específica del cliente. Una definición más completa es mencionada en Hall [23]: El alistamiento de pedidos es un proceso por el cual los elementos se recuperan de lugares de almacenamiento. Normalmente, las tareas de preparación de pedidos comienzan con la conversión de una orden o pedido de los clientes en una lista de preparación, que especifica la ubicación de cada tipo de artículo, sus cantidades y la secuencia en la que serán recuperados de la zona de almacenamiento. El alistador es la persona que se desplaza a través

del almacén recogiendo los artículos y los lleva a una ubicación específica para su embalaje y transporte.

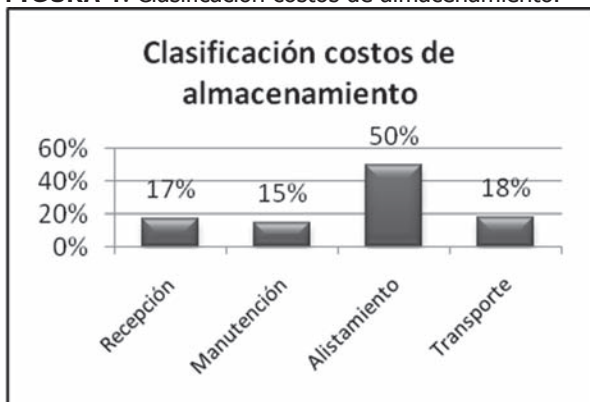
El alistamiento de pedidos se realiza en un almacén. De Koster et al. [10] explican que las funciones generales de un almacén son almacenar inventarios y servir como amortiguador entre los puntos de origen y los puntos de consumo. Gu, Goetschalckx y McGinnis [22] explican la función de amortiguador, que consiste en el manejo de la variabilidad presentada por la estacionalidad de algunos productos y la conformación de lotes o grupos de pedidos para el transporte, pero además mencionan otras funciones del almacén: la consolidación de pedidos de varios proveedores para los clientes y realizar operaciones de valor agregado como etiquetados, empaques o personalización de los productos.

Conociendo la importancia de los almacenes para muchas organizaciones, ¿Cuál es el papel que representa el proceso de alistamiento de pedidos en los almacenes y por qué se hace importante su estudio? La respuesta a esta interrogante tiene dos aspectos fundamentales. El primero es la alta importancia en costos que tiene el proceso de alistamiento de pedidos. Los costos de almacenamiento hacen parte importante de los costos de las organizaciones, según ELA/AT Kearney [15], representan el 20% de los costos logísticos. A su vez, el costo de alistamiento de pedidos es el más alto de todos los costos de almacenamiento. Ghiani, Laporte y Musmanno [19] agrupan los costos de almacenamiento en cuatro actividades principales: (1) la recepción de los productos, (2) mantener inventarios, (3) el alistamiento de pedidos y (4) el embalaje y transporte de los pedidos, siendo el alistamiento la más costosa de esas actividades (ver figura 1). Coyle, Bardi y Langley [4] mencionan que el alistamiento de pedidos representa entre el 50% y el 75% de los costos totales del almacén. En Frazelle [17] se resalta como la actividad de más alta prioridad para mejorar la productividad y la señalan como la más costosa, asociando el proceso de alistamiento de pedidos con el 50% de los costos de operación del almacén. La importancia de estos costos guarda relación con el consumo de mano de obra y la carga de trabajo que requiere, es el proceso más laborioso y consume hasta un 60% de todas las actividades de los almacenes [14] [18].

El segundo aspecto que justifica el estudio del proceso de alistamiento de pedidos es la importancia que puede representar en el ámbito táctico y estratégico de las organizaciones, lo que podría ir en contravía de una reducción de costos. Lambert, Stock y Ellram [33] mencionan entre las funciones tácticas de los almacenes lograr economías de escala en transporte y producción,

servir como soporte de la compañía para cumplir las políticas de servicio de los clientes, superar las brechas de tiempo que hay entre proveedores y clientes, hacer frente a condiciones cambiantes del mercado y sobrellevar programas de clientes o proveedores como las entregas justo a tiempo.

FIGURA 1. Clasificación costos de almacenamiento.



Fuente: Introduction to Logistics Systems and Planning Control, Ghiani et al. [19].

Dekker et al. [13] señalan que el proceso demanda eficiencia debido a los cambios en los requerimientos del cliente quienes ahora tienden a pedir tarde y esperan entregas más rápidas. De Koster et al. [9], destacan la importancia de estudiar el proceso por razones tales como: (1) las compañías reclaman entregas rápidas y oportunas, (2) en algunos mercados los tiempos de entrega cortos son vistos como una ventaja competitiva, (3) las entregas cada vez son más pequeñas y frecuentes lo que incrementa el trabajo en los almacenes y (4) el incremento de actividades de valor agregado durante o después del alistamiento de pedidos.

2. FACTORES RELEVANTES Y METODOLOGÍA PARA ESTUDIAR EL PROCESO DE ALISTAMIENTO DE PEDIDOS.

Para Goetschalckx y Ashayeri [21] las decisiones importantes en la preparación de pedidos incluyen factores internos y externos. Los canales de comercialización, los patrones en la demanda de los clientes, los patrones de reposición de los proveedores, los niveles de inventario y el estado de la economía son factores externos. Los factores internos incluyen entre otros, las políticas de los sistemas de preparación de pedidos.

De Koster et al. [10] mencionan que las decisiones de diseño y control de los sistemas de preparación de pedidos se pueden enmarcar en cinco decisiones

a nivel táctico y operativo: (1) El diseño del layout y las dimensiones del sistema de almacenamiento, (2) la política de almacenamiento, (3) la conformación de lotes (batching) y la zonificación, (4) la política o método de ruteo y (5) la clasificación de las órdenes (sorting).

Cabe resaltar que para algunos autores la conformación de lotes y la zonificación hacen parte de una decisión más global que denominan políticas de alistamiento [39]. Estas políticas se clasifican en discreta, la conformación de lotes, la zonificación, la preparación por olas de pedidos y las brigadas de pedidos.

Pero realizar modificaciones en factores externos como la demanda, o incluso internos como el diseño del almacén no siempre es viable por ser variables fuera de control o porque dichos cambios resultarían muy costosos. Dado lo anterior, las formas tradicionales de estudiar el proceso de preparación de pedidos son: (1) la política de almacenamiento, (2) el método o política de ruteo y (3) las políticas de alistamiento (especialmente la conformación de lotes) [9]. Más adelante se hablará de estas tres decisiones fundamentales dentro de los almacenes.

Por otra parte, De Koster et al. [10] señalan que tratar el problema en forma global es muy complejo y que incluir todas las decisiones en un modelo es intratable, por esto los investigadores solo se limitan a una o pocas áreas de investigación simultáneamente. Por mencionar algunos casos, Daniels, Rummel y Schantz [8]; Petersen [38]; y Dekker et al. [13] evaluaron combinaciones de dos decisiones, políticas de almacenamiento y métodos de ruteo. Chan y Chan [5] evaluaron tres decisiones: políticas de almacenamiento, métodos de ruteo y las densidades de los pedidos. Petersen y Aase [39] evaluaron simultáneamente tres problemas, políticas de alistamiento, métodos de ruteo y políticas de almacenamiento.

Ya se han mencionado los factores de mayor incidencia en el proceso de preparación de pedidos. ¿Cuál debe ser el indicador de mejora sobre el cual se debe evaluar el desempeño en el problema de alistamiento de pedidos? Definir qué variable o unidad de análisis se debe estudiar y mejorar al abordar el problema es importante. En Frazelle [17] se identifican las actividades más comunes que componen la preparación de pedidos, siendo los desplazamientos las actividades que consumen mayor tiempo de preparación, el 55% según el autor. Los tiempos de desplazamiento son una variable utilizada comúnmente. Otra unidad de análisis común es el tiempo total de alistamiento, el primer candidato a mejorar según Bartholdi y Hackman

[1] y guarda relación con el tiempo de desplazamiento. Otras investigaciones que han utilizado como unidad de análisis el tiempo de alistamiento son Jane y Laih [31] y Jewkes, Lees y Vickson [32]. Pero algunos autores han centrado interés en indicadores de mejora que no involucran tiempo, por ejemplo, el factor de utilización de los operarios [35] o los costos del almacén [26].

Una vez los investigadores definen sus factores a estudiar, proceden a elaborar sus modelos. Los autores utilizan modelación matemática y simulación para comparar escenarios y obtener resultados sobre la unidad de análisis. La simulación se realiza con software como ARENA [5], PROMODEL [35], Microsoft Excel VBA [28], entre otros. Cada escenario arroja resultados sobre la variable de interés y se comparan a través de pruebas estadísticas. La figura 2 muestra los factores de mayor interés que han tomado los autores para mejorar el proceso de alistamiento de pedidos y la unidad de análisis más tradicional, el tiempo total de alistamiento (o tiempo de desplazamiento).

La tabla 1 muestra datos arrojados de la investigación realizada por Chan y Chan [5]. La unidad de análisis o indicador de mejora es el tiempo total de alistamiento. S1, S2 y S3 son políticas de almacenamiento; R1, R2 y R3 son políticas de ruteo y D1, D2 y D3 son distintas densidades de pedidos. La comparación de las combinaciones de los factores se realizó con pruebas ANOVA.

FIGURA 2. Factores tradicionales para evaluar el proceso de alistamiento de pedidos.



TABLA 1. Resultado sobre tiempo de alistamiento de la orden para combinaciones de factores (miles de segundos).

	S1			S2			S3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
D1	111	118	98	82	87	72	89	88	78
D2	180	190	164	152	161	136	156	167	142
D3	322	332	305	240	250	224	248	256	230
AV	204	213	189	158	166	144	164	179	150

Fuente: Improving the productivity of order picking of a manual pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. Chan y Chan [5].

Un resumen la metodología utilizada por varios investigadores para abordar el proceso de alistamiento de pedidos se observa en la figura 3. Una vez se identifica el problema a estudiar y los factores que serán evaluados se genera un modelo. A continuación se realiza la selección de la unidad de análisis que será contrastada. Luego se comparan los factores evaluados en el modelo (por ejemplo con simulación). Los resultados se analizan estadísticamente para generar conclusiones.

FIGURA 3. Metodología usual en la literatura para estudiar el proceso de alistamiento de pedidos.



3. LAS TRES DECISIONES MÁS ESTUDIADAS PARA MEJORAR EL PROCESO DE ALISTAMIENTO DE PEDIDOS.

Para muchos almacenes, lograr tiempos cortos de alistamiento es de crucial importancia [9]. Como se mencionó previamente, tres decisiones importantes a nivel operativo en el proceso apuntan a disminuir los tiempos de alistamiento:

- Las políticas de almacenamiento
- Las políticas de alistamiento.
- Las políticas o métodos de ruteo.

Una política de almacenamiento busca proveer una forma efectiva de localizar los artículos con el fin de reducir los esfuerzos en la preparación de pedidos [36]. Las tres políticas más comunes son almacenamiento aleatorio, almacenamiento dedicado y almacenamiento por clases [24]. El primero asigna cada producto a una posición vacía arbitrariamente seleccionada en el almacén. El almacenamiento dedicado asigna cada producto a una posición fija en el almacén. El almacenamiento por clases asigna dependiendo del tipo de producto, las características físicas, la cantidad de recogidas o cualquier combinación de esas tres características [13].

De Koster et al. [10] describen las políticas de almacenamiento con más detalle y complementan la clasificación antes mencionada con dos políticas de almacenamiento adicionales. Una es la ubicación más cercana abierta, donde los mismos operarios seleccionan el lugar de almacenamiento. La otra política es el almacenamiento por rotación o full-turnover, donde los productos con altos niveles de ventas se almacenan en los lugares de más fácil acceso y los productos de bajo movimiento se almacenan en lugares alejados, por ejemplo, la parte posterior del almacén.

Las políticas de alistamiento son el segundo factor de amplio estudio para estudiar el proceso de alistamiento de pedido. Determinan que productos se colocan en una lista de preparación y posteriormente son recogidos en su lugar de almacenamiento por los alistadores [39]. Las políticas de alistamiento que menciona la literatura son: (1) política de alistamiento discreta, (2) política de conformación de lotes, (3) el alistamiento por olas (4) la zonificación y (4) las brigadas de pedidos.

Cuando una orden es alistada individualmente o una a una se dice que se trata de una política de alistamiento discreta. Esta política se prefiere a menudo debido a que es fácil de implementar y porque siempre se mantiene

la integridad de la orden [39]. Este método puede ser utilizado cuando las órdenes de pedido son grandes, sin embargo cuando son pequeñas existe la posibilidad de reducir los tiempos de desplazamiento realizando el alistamiento o preparación de un conjunto de órdenes en un solo viaje de alistamiento [10].

La conformación o procesamiento por lotes es una estrategia que reúne productos de órdenes diferentes y los recoge juntos, lo que resulta en la disminución de las distancias de viaje y menor tiempo de recolección [35]. Es conocido por sus siglas en inglés como el OBP (Order Batching Problem), es uno de los problemas más estudiados en la literatura de alistamiento de pedidos.

Gibson y Sharp [20] compararon diferentes procedimientos de procesamiento por lotes y mostraron que estos pueden permitir reducciones significativas en el tiempo de recolección. Sin embargo, el procesamiento por lotes demanda que las unidades tienen que ser clasificadas por un grupo de consolidación después del proceso de preparación, incluso puede requerir una máquina de clasificación costosa [9]. La política de conformación de lotes a menudo funciona a la par con una política de alistamiento por olas, dado que los productos que conformarán lotes de pedidos se generan en olas para su alistamiento.

De acuerdo a la disponibilidad de la información de la orden, la investigación en la conformación de lotes se clasifica en dos tipos: Conformación de lotes estática y conformación de lotes dinámica. En la primera el número de líneas de las órdenes es conocida al inicio del horizonte de planeación, el problema se reduce a definir la asignación de cada orden a un lote. En la conformación de lotes dinámica el orden de llegada de las órdenes y el número de líneas en cada lote son estocásticos, lo importante en este caso es determinar el tamaño de los lotes o la ventana de tiempo de los lotes de tal forma que el tiempo de procesamiento sea minimizado [51].

Hay dos tipos de estrategias de conformación de lotes: pick-and-sort (alistar y clasificar) y sort-while-pick (clasificar mientras se alista). En la primera los alistadores no clasifican mientras preparan los pedidos de los clientes. Los elementos seleccionados son consolidados al final a través de un sistema de clasificación manual o automatizado. Esto significa que mantiene una alta tasa de recogida pero requiere tiempo para consolidar las órdenes. En la segunda estrategia por el contrario los alistadores preparan los pedidos y los clasifican simultáneamente [37].

El modelo matemático para la conformación de lotes es planteado en varios artículos como una variación del problema del vendedor viajero (Travel Salesman Problem -TSP). El TSP tiene que ver con la determinación del viaje más corto en un caso con n ciudades, en el que cada ciudad se visita una vez y por su versatilidad puede usarse para otros casos prácticos [45]. Para un almacén de tipo AS/RS (sistema de preparación de pedidos de recuperación y almacenamiento automatizado-Automated Storage and Retrieval Systems por sus siglas en inglés-), Hwang, Baek y Lees [29] formulan el OBP de la siguiente manera:

Problema (1).

$$\begin{aligned} & \text{MIN} \sum_{j=1}^T d_{ij}(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{Lj}) \\ & \sum_{j=1}^T x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, L. \\ & \sum_{i=1}^L q_{ij}x_{ij} \leq Q, \quad j = 1, 2, \dots, T. \\ & \sum_{i=1}^L v_{ij}x_{ij} \leq V, \quad j = 1, 2, \dots, T. \\ & x_{ij} = \{1 \text{ si } O_i \in T_j, 0 \text{ en otro caso}\}. \end{aligned}$$

- Q y V representan capacidad de la máquina de recolección del sistema AS/RS, siendo el peso límite y espacio límite respectivamente.
- T_j los toures de recorrido.
- O_i las órdenes por recoger.
- q_i y v_i , el peso y espacio requerido en la orden O_i respectivamente.
- L_i es el número total de ubicaciones de la orden O_i .
- d_{ij} , distancia entre ubicaciones i y j .

El problema (1) busca minimizar las distancias recorridas (tiempo de desplazamiento), sujeto a restricciones de volumen y peso de la máquina de alistamiento. Este tipo de problemas, ha sido estudiado por muchos autores y ha sido resuelto por distintos algoritmos. Algunos han buscado la solución a través de métodos óptimos. Sin embargo, por ser de tipo combinatorio, cuando el

problema se hace grande encontrar soluciones óptimas es complejo. Gademann y Van de Velde [18] plantearon un modelo matemático de conformación de lotes y probaron en ese artículo que es un problema de tipo NP-hard. Hen y Wäscher [25] señalaron que es inevitable buscar la solución del problema de conformación de lotes a través de heurísticas, ellos las agrupan en cinco grupos: (1) algoritmos basados en una regla de prioridad (rule based algorithms), (2) algoritmos semillas (seed algorithms), (3) algoritmos de ahorro (saving algorithms), (4) metaheurísticas y (5) enfoques con minería de datos.

El algoritmo basado en una regla de prioridad más conocido es el FCFS (First Come First Served), donde los órdenes se atienden en el orden de llegada hasta cumplir la capacidad del recurso de alistamiento. Por otra parte, los algoritmos semillas se encuentran en varios trabajos de investigación. Para el problema (1), Hwang et al. [29] plantearon en ese caso, seis algoritmos semilla. Ellos parten de una orden semilla que cumple ciertas restricciones de capacidad del recurso, se asigna a un tour en particular y se le adicionan otras órdenes a través de medidas de similaridad hasta que se llegue al tope de capacidad del recurso. Concluyeron que elegir una correcta medida de similaridad es determinante para los tiempos de alistamiento y sugieren para conformar los lotes de pedidos una medida de similaridad que se basa en un ratio que relaciona las áreas de un rectángulo conformado por las ubicaciones de las órdenes. De Koster, Van der Poort y Wolters [12] es un trabajo de investigación que plantea algoritmos de conformación de lotes por órdenes semilla y con algoritmos de ahorro. Los últimos se basan en el ahorro que se puede obtener al combinar dos órdenes en un tour de recolección respecto a un alistamiento discreto de cada una de esas órdenes. Ellos evaluaron tres tipos de algoritmos de ahorro, uno utilizado para resolver el ruteo de vehículos propuesto por Clarke y Wright [7], y los algoritmos EQUAL y el Pequeño- Grande (Small-Large), propuestos por Elsayed y Unal [16]. En ese trabajo encontraron en qué casos es más ventajoso utilizar cada algoritmo, dependiendo de la capacidad del recurso de alistamiento o el tamaño de las órdenes de pedido. En cuanto a las metaheurísticas, para resolver el problema de conformación de lotes una alternativa fue el uso de la búsqueda tabú propuesto por Hen y Wascher [25] o el uso de algoritmos genéticos por Hzu, Chen y Chen [30] y Tsai, Lou y Wang [47]. En estudio de metaheurísticas para el OBP analiza entre otras cosas los tiempos de cómputo de los algoritmos

y la proximidad con la solución óptima. Un estudio con minería de datos se observa en Chen, Huang y Chen [6]. Otras investigaciones dedicadas a la conformación de lotes se pueden encontrar en [43], [44], [50], [34] y [27].

Otra política de alistamiento distinta a la conformación de lotes y la política discreta es la zonificación. La superficie preparación de pedidos puede ser dividida en zonas y cada recolector se asigna a una parte del almacén. De koster et al. [10] señalan que la principal desventaja de la zonificación es que las órdenes podrían dividirse y deben consolidarse de nuevo antes de su envío al cliente, además puede presentarse desequilibrio en la carga de trabajo de los preparadores. Sin embargo tiene como principales ventajas la reducción de los tiempos de viaje, debido a que se atraviesa un área menor y a la familiarización del alistador con la zona [48]. Un caso particular de la zonificación son las brigadas de pedidos. Los trabajadores progresivamente consolidan órdenes. Cada trabajador sigue la regla de llevar los trabajos hasta que alguien continúe con los mismos para luego ir por más [2].

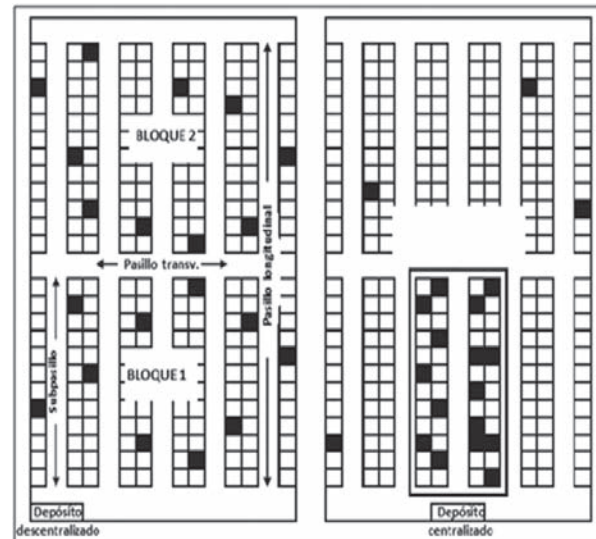
El tercer problema de interés de investigación para estudiar el proceso de alistamiento de pedidos son las políticas o métodos de ruteo. Es el más estudiado en la literatura y la mayor parte de la investigación asume que las ubicaciones que se visitarán son conocidas [22]. El problema de la determinación de las rutas de preparación de pedidos consiste en encontrar una secuencia en la que los productos son recuperados de su lugar de almacenamiento de modo que las distancias de viaje sean tan cortas como sea posible [42].

Para explicar las políticas de ruteo es importante comprender las partes del layout de un almacén (ver figura 4). Las existencias de inventario se almacenan en los pasillos longitudinales. Los pasillos transversales son perpendiculares a los longitudinales y permiten un movimiento eficiente de los alistadores. Las secciones de los pasillos que se encuentran dentro de un bloque se denominan subpasillos. Un alistador de pedidos sigue una ruta en el almacén comenzando y terminando en un depósito, que puede ser centralizado o descentralizado [46].

El problema de la selección del método o política de alistamiento al igual que la conformación de lotes se ha resuelto por heurísticas o por algoritmos que plantean

una solución óptima. Un algoritmo óptimo de ruteo para almacenes con dos pasillos transversales fue desarrollado por Ratliff y Rosenthal [41] pero extenderlo a almacenes con más pasillos transversales no es sencillo. Investigaciones para comparar el desempeño de las heurísticas respecto a métodos óptimos ha sido estudiado por varios autores, por ejemplo Petersen [40]. Sin embargo, varios autores resaltan que en la práctica las heurísticas tienen más cabida por su mayor sencillez a la hora de implementarlas.

FIGURA 4. Partes del almacén para comprender política de ruteo.



Fuente: Using a TSP Heuristic for routing order pickers in warehouses. Theys, Bräysy, Dullaert y Raa [46].

El OBP y el ruteo guardan estrecha relación, porque los dos apuntan a recorrer eficientemente el almacén para disminuir los tiempos de alistamiento. Sin embargo, en la literatura revisada, por la complejidad del OBP y el ruteo, se recurre habitualmente al uso de heurísticas y/o metaheurísticas para resolver los dos problemas por separado o para verificar el efecto en conjunto sobre los tiempos de alistamiento. Cuando se utilizan heurísticas para definir políticas de ruteo, en la literatura se plantean de acuerdo al diseño del almacén. Para almacenes de bloque sencillo (dos pasillos transversales), las heurísticas propuestas son la política de forma de S, la política de retorno, el punto medio, el mayor espacio y las heurísticas combinadas. La figura 5 muestra las heurísticas para almacenes de un solo bloque, en De koster et al. [10] se describen de la siguiente manera:

- **Política de forma de S.** Cada pasillo que contenga al menos un producto o artículo por alistar debe ser atravesado completamente y los pasillos que no contengan artículos no deben ser visitados.
- **Política de retorno.** Los alistadores entran y salen en cada pasillo por el mismo punto. Solo los pasillos con artículos por alistar son visitados.
- **Política de punto medio.** El bloque se divide en dos secciones iguales. Cuando los artículos están en la primera sección del bloque, los alistadores ingresan al pasillo por la parte frontal del bloque. Si los artículos por alistar están en la segunda sección, los alistadores ingresan por la parte posterior del bloque. Los alistadores pueden ir a la parte posterior del bloque cuando visiten el primer o último pasillo del recorrido.
- **El mayor espacio.** Es similar a la estrategia del punto medio, pero los alistadores no ingresan hasta la mitad del pasillo sino hasta que encuentra el mayor espacio o brecha dentro del mismo. El mayor espacio está representado ya sea por dos artículos adyacentes, entre el primer artículo del recorrido y el pasillo frontal o por la distancia entre el último artículo por recoger y el pasillo posterior. Si el mayor espacio es entre dos artículos, el alistador realiza una ruta donde ingresa y sale por los dos extremos del bloque. El mayor espacio es la porción del pasillo que el alistador no recorre.
- **Heurísticas combinadas.** Las heurísticas combinadas determinan si se realiza un tránsito total de cada pasillo donde hay productos por alistar, o si se ingresa y se sale por el mismo punto de ingreso al pasillo.

Para almacenes con múltiples pasillos transversales (más de un bloque) en Roodbergen y De Koster [42] se presentan cuatro tipos de heurísticas: dos tradicionales como son (1) la forma de S y (2) el mayor espacio que son similares a las explicadas previamente, el autor describe claramente cada algoritmo. Además se estudia la estrategia de (3) Vaughan y Petersen [49] y (4) heurísticas combinadas.

La tercera es una heurística de pasillo a pasillo. Vaughan y Petersen [49] tenían como principal objetivo demostrar el efecto de los pasillos transversales en la disminución

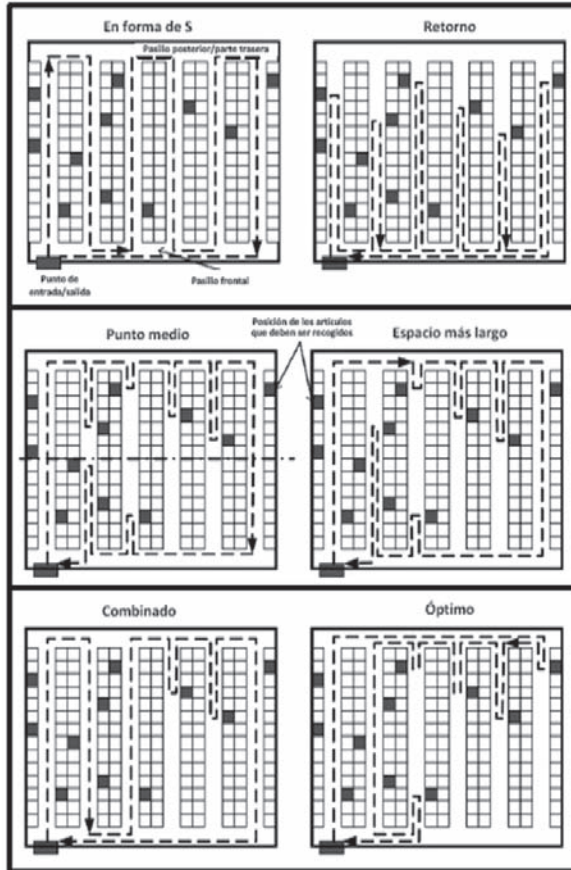
de los tiempos de alistamiento. Basándose en el trabajo de Bellman [3], a través de programación dinámica crearon esa heurística para realizar ruteo en el almacén donde cada pasillo longitudinal es visitado una sola vez, siendo las variables de decisión el pasillo transversal por el que se ingresa y por cual se abandona dicho pasillo longitudinal. Al final demostraron como con esa política de ruteo se disminuyen los tiempos de alistamiento a medida que aumentan los pasillos transversales en el almacén.

La cuarta política de ruteo para almacenes de múltiples pasillos transversales presentada en Roodbergen y De Koster [42] es un método de heurísticas combinadas. También utiliza programación dinámica, pero el recorrido no se realiza visitando pasillos completos, sino que cada subpasillo se visita una sola vez. Los autores compararon las cuatro heurísticas mencionadas previamente y encontraron que la política de forma de S arrojó peores resultados en tiempos de alistamiento frente a las demás, en escenarios donde variaban los pasillos transversales, los pasillos longitudinales y los tamaños de la orden de pedidos.

4. EL DISTANCIAMIENTO ENTRE LA ACADEMIA Y LA PRÁCTICA.

Ya se han descrito los tres factores que se estudian habitualmente para mejorar los tiempos de alistamiento de pedidos. En cuanto a casos de aplicación del estudio de ese proceso, se ha resaltado frecuentemente en la literatura que su análisis se ha centrado de forma importante en el plano académico, pero hay una brecha con la aplicación de los modelos en la industria como lo señalan De Koster et. al. [10], Gu et al. [22] y Dekker et al. [13]. Los trabajos revisados en la literatura normalmente llegan hasta una validez estadística, a partir de la cual se generan conclusiones que difícilmente se pueden generalizar para empresas de un sector económico específico. Los supuestos y factores que inciden en el proceso de alistamiento como las políticas de almacenamiento, el diseño del almacén, el tamaño de los pedidos, entre otros, no son comunes entre las organizaciones. En la literatura revisada, pocos investigadores han optado por romper esta separación estudiando casos prácticos para dar soluciones a empresas particulares (por ejemplo [9] y [13]). Entonces, el diseño de modelos que funcionen en una empresa o sector económico puede ser un aporte importante si se desea investigar el proceso.

FIGURA 5. Políticas de ruteo para almacenes de bloque sencillo (heurísticas).



Fuente: Design and control of warehouse order picking: A literature review. De Koster et al. [10].

5. CONCLUSIONES.

El estudio del proceso de preparación de pedidos se justifica por el impacto que tiene tanto a nivel operativo (por ejemplo en los costos de almacenamiento), como en factores misionales de las organizaciones (como cumplir con los niveles de servicio requeridos por los clientes).

El problema puede ser abordado evaluando decisiones externas e internas. Sin embargo, las investigaciones no pueden contemplar simultáneamente todos los aspectos que afectan el proceso pues los modelos de evaluación serían muy complejos. Lo recomendable y realizado en distintas investigaciones es abordar el problema en uno o pocos factores de decisión.

Los factores de decisión más estudiados son las políticas de almacenamiento, la conformación de lotes y los métodos de ruteo con el fin de disminuir los tiempos de alistamiento. Tienen la ventaja de ser susceptibles a cambios o mejoras respecto a otros problemas de decisión, porque realizar cambios sobre los factores mencionados no representa altas repercusiones en los costos y están bajo el control de las organizaciones.

Varios autores han estudiado el impacto de utilizar distintas combinaciones de factores de decisión en diferentes escenarios. Para comparar los distintos escenarios, se simula y los resultados sobre la variable de interés se analizan con métodos estadísticos como el diseño de experimentos.

No siempre los escenarios óptimos son la mejor alternativa para la implementación o su solución exacta no es posible. Por lo antes mencionado, los problemas asociados al proceso de alistamiento de pedidos son resueltos frecuentemente por heurísticas.

El estudio del proceso de alistamiento de pedidos tiene campos de investigación, especialmente en casos prácticos. Los modelos que se han estudiado, en su mayoría no se han llevado a la industria, solo se han analizado en el ámbito académico.

6. REFERENCIAS.

- [1] Bartholdi, J.J., & Hackman, S.T. (2011). *Warehouse & distribution science*. Atlanta: Instituto de Tecnología de Georgia. <http://www2.isye.gatech.edu/~jjb/wh/book/editions/wh-sci-0.95.pdf>.
- [2] Bartholdi, J.J., Eisenstein D.D., & Foley R.D. (2001). Performance of bucket brigades when work is stochastic. *Operations Research*, 49 (5), 710-719.
- [3] Bellman, R. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- [4] Coyle, J.J., Bardi, E.J., & Langley, C.J. (1996). *The Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective*. Saint Paul, Estados Unidos: West Publishing.
- [5] Chan, F.T., & Chan, H.K. (2004). Improving the productivity of order picking of a manual pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2686-2700.

- [6] Chen, M.C., Huang, C.L., Chen, K.Y., & WU, H.P. (2005). Aggregation of orders in distribution centers using data mining. *Expert Systems with Applications*, 28 (3), 453–460.
- [7] Clarke, G., & Wright, W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12, 568–581.
- [8] Daniels, R.L., Rummel J.L., & Schantz R. (1998). A model for warehouse order picking. *European Journal of Operational Research*, 105, 1-17.
- [9] De Koster, R., Roodbergen, K.J., & Van Voorden, R. (1999). Reduction of walking time in the distribution center of De Bijenkorf. *New Trends in Distribution Logistics*, 215–234.
- [10] De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K.J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501.
- [11] De koster, R., Le-Duc, T., & Zaerpour, N. (2011). Determining the number of zones in a pick-and-sort order picking system. *International Journal of production Research*, 50(3), 1-15.
- [12] De Koster, R., Van Der Poort, E., & Wolters, M. (1998). Efficient Order Batching Methods in Warehouses. *International Journal of Production Research*, 37 (7), 1479-1504.
- [13] Dekker, R., De Koster, M., Roodbergen, K., & Van Kalleveen, H. (2004). Improving Order-Picking Process Response Time at Ankor's Warehouse. *Interfaces*, 34, 303-313.
- [14] Drury, J. Towards more efficient order picking, en IMM Monographs 1, Institute of Material Management, Cranfield, UK.
- [15] ELA/AT Kearney, 2004. *Excellence in Logistics 2004*. ELA, Brussels.
- [16] Elsayed, E.A., & Unal, O.I. (1989). Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 27, 1097–1114.
- [17] Frazelle, E. (2001). *Supply Chain Strategy: The Logistics of supply chain management*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
- [18] Gademann, N., & Van De Velde, S. (2005). Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 37(1), 63–75.
- [19] Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to Logistics Systems and Planning Control*. Chichester, Inglaterra: Wiley.
- [20] Gibson, D.R., & Sharp, G.P. (1992). Order batching procedures. *European Journal of Operational Research*, 58 (1), 57–67.
- [21] Goetschalckx, M., & Ashayeri, J. (1989). Classification and design of order picking systems. *Logistics World, Junio*, 99–106.
- [22] Gu, J.X., Goetschalckx, M., & McGinnis F.F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21.
- [23] Hall, R.W. (1993). Distance approximation for routing manual pickers in a warehouse. *IIE Transactions*, 25, 77–87.
- [24] Hausman, W. H., Schwarz, L. B., & Graves, S. C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 22(6), 629–638.
- [25] Henn, S., & Wäscher, G. (2012). Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *International Journal of Production Research*, 222, 484-494.
- [26] Heragu, S.S., Du, L., Mantel, R.J., & Schuur, P. C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 43(2), 327–338.
- [27] Ho, Y., Su, T., & Shi, Z. (2008). Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles. *Computers & Industrial Engineering*, 55(2), 321-347.
- [28] Hsieh, L., & Huang, Y. (2011). New batch construction heuristics to optimize the performance of order picking systems. *International Journal of Production Economics*, 131(2), 618–630.
- [29] Hwang, H., Baek, W., & Lees, M. (1988). Clustering algorithms for order picking in an automated storage and retrieval system. *International Journal of Production Research*, 26(2), 189-201.

- [30] Hzu, C., Chen K., & Chen, M. (2005). Batching orders by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry*, 56(2), 169-178.
- [31] Jane, C.C., & Laih, Y.W. (2005). A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system. *European Journal of Operational Research*, 166(2), 489-496.
- [32] Jewkes, E., Lee, C., & Vickson, R. (2004). Product location, allocation and server home base location for an order picking line with multiple servers. *Computers and Operations Research*, 31(4), 623-636.
- [33] Lambert, D.M., Stock, J.R. & Ellram, L.M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Estados Unidos: Irwin/McGraw-Hill.
- [34] Le-Duc, T., & De Koster, R. (2007). Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse. *European Journal of Operational Research*, 176(1), 374-388.
- [35] Lin, C.H., & Lu, I.Y. (1999). The procedure of determining the order picking strategies in distribution center. *International Journal of Production Economics*, 60-61, 301-307.
- [36] Pan, J.C., Shih, P., & Wu, M. (2012). Storage assignment problem with travel distance and blocking considerations for a picker-to-part order picking system. *Computers & Industrial Engineering*, 62(2), 527-535.
- [37] Parikh, P.J., & Meller, R.D. (2008). Selecting between batch and zone order picking strategies in a distribution center. *Transportation Research*, 44(5), 696-719.
- [38] Petersen, C.G. (1999). The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*, 19 (10), 1053-1064.
- [39] Petersen, C.G., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11-19.
- [40] Petersen, C.G. (1997). An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17 (11), 1098-1111.
- [41] Ratliff, H.D., & Rosenthal, A.S. (1983). Order picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, 31 (3), 507-521.
- [42] Roodbergen, K.J., & De Koster, R. (2001). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39 (9), 1865-1883.
- [43] Rosenwein, M.B. (1996). A comparison of heuristics for the problem of batching orders for warehouse selection. *International Journal of Production Research*, 34(3), 657-664.
- [44] Tan, L.C., & Chew, E. (1997). Order picking systems: Batching and storage assignment strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 33(3-4), 817-820.
- [45] Taha, H.A. (2004). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson.
- [46] Theys, C., Bräysy, O., Dullaert, W., & Raa, B. (2010). Using a TSP Heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 755-763.
- [47] Tsai, C., Liou, J.J.M., & Huang, T. (2008). Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time. *International Journal of Production Research* 46 (22), 6533-6555.
- [48] Van Nieuwenhuyse, I., & De Koster, R. (2009). Evaluating order throughput time in 2-block warehouses with time window batching. *International Journal Production Economics*, 121(2), 654-664.
- [49] Vaughan, T.S., & Petersen, C.G. (1999). The effect of warehouse cross aisle on order picking efficiency. *International Journal of Production Research*, 37 (4), 881-897.
- [50] Won, J., & Olafsson, S. (2005). Join order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal of Production Research*, 43(7), 1427-1442.
- [51] Yu, M., & De Koster, R. (2009). The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance. *European Journal of Operational Research*, 198(2), 480-490.