Mejora de la eficiencia de una central logística mediante el rediseño del reaprovisionamiento de la zona de picking

Improving the efficiency of a logistics center by redesigning piece picking area replenishment

Ruth Carrasco-Gallego y Eva Ponce-Cueto

Departamento de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid

ruth.carrasco@upm.es eva.ponce@upm.es

Fecha de recepción: 13-06-08

Fecha de aceptación: 10-07-08

Resumen. Las empresas industriales que realizan preparación de pedidos pueden conseguir ahorros relevantes en sus costes de operación a través de una correcta combinación de políticas de agrupación de pedidos, asignación de emplazamientos y elección de rutas de preparación. Sin embargo, parte de los beneficios que la empresa puede alcanzar en términos de reducción de costes se perderían si los emplazamientos destinados al picking no se reaprovisionan adecuadamente. La falta de producto en los emplazamientos de preparación es un problema que afecta a muchas centrales logísticas. En este artículo se analiza el caso de una conocida firma de cosmética de lujo, que ve reducida la eficiencia de su sistema logístico a causa de la aparición de emplazamientos vacíos. Se propone un nuevo procedimiento de reaprovisionamiento de la zona de picking cuyo objetivo es reducir la incidencia de los emplazamientos vacíos en el proceso de preparación y se presentan los resultados obtenidos tras su implantación. El procedimiento propuesto puede ser extensible a otras centrales logísticas en las que se plantean problemas similares.

Palabras clave: picking, reaprovisionamiento, forward-reserve problem (FRP).

Abstract. The benefits in terms of cost savings that an industrial firm can achieve in order picking processes by choosing the right combination of picking, storage assignment and routing policies will be lost if picking racks are not being properly fulfilled. Stockouts in piece picking racks represents a problem that affects many distribution centers. In this paper, we analyze the case of a renowned luxury cosmetics firm, in which the shortage of products in piece picking racks brought, as a consequence, a reduction in system's performance. A new procedure for piece picking racks replenishment is proposed and the results of its implementation are also presented. This procedure can be extended to other warehouses where similar problems may arise.

Key words: picking, replenishment, forward-reserve problem (FRP).

1. Introducción

Entre todas las actividades que se llevan a cabo en una central logística, la preparación de pedidos suele atraer de forma sustancial la atención de los profesionales y los académicos del área de gestión de operaciones. El proceso de retirar productos de las zonas de almacenaje en respuesta a un pedido específico del cliente (De Koster *et al.*, 2007) es típicamente una de las actividades más intensivas en tiempo y mano de obra de un almacén, por lo que representa un capítulo muy importante en el presupuesto global del mismo. Varios autores coinciden en establecer que más del 50% de los costes de opera-

ción de almacén están relacionados con el proceso de preparación de pedidos (Bartholdi y Hackman, 2007; Petersen y Aase, 2004; Jarvis y McDowell, 1991). Además de por su notable contribución a los costes de operación, las actividades de preparación de pedidos también se consideran importantes por su directa conexión con la satisfacción del cliente. En los mercados actuales, el cliente tiende a pedir en el último momento y espera entregas rápidas y sin errores en la confección del pedido.

En las operaciones de preparación de pedidos suelen establecerse tres objetivos primordiales a alcanzar: productividad, tiempo de ciclo y precisión en la

confección del pedido. La productividad se mide normalmente mediante el número de *picks* por persona y unidad de tiempo (generalmente por hora). Autores como De Koster *et al.* (2007) establecen que es posible alcanzar tasas de productividad de hasta 1000 *picks* por persona y hora, empleando soluciones industriales punteras e innovadoras para los procesos de preparación. Un nivel de productividad entre 150-500 *picks* por persona y hora puede considerarse dentro de la media (Bartholdi y Hackman, 2007). El tiempo de ciclo en preparación mide el tiempo transcurrido entre la entrada del pedido en el sistema y el momento en que se produce la expedición. Existe una presión creciente para reducir los tiempos de ciclo dado que la tendencia apunta a que, cada vez más, las empresas aceptan pedidos tardíos y los clientes esperan que se les entregue con prontitud. El tiempo empleado en retirar los productos del almacén para consolidar el pedido es un factor que influye directamente en el tiempo de ciclo, aunque existen otros factores que no deben obviarse, como el tiempo transcurrido entre la emisión del pedido por parte del cliente y el inicio de su preparación en la zona de *picking*. La precisión en la confección del pedido depende en gran parte de las medidas que se adopten para evitar los errores humanos en preparación, como formación del personal, esquema de numeración de productos y emplazamientos de *picking*, diseño de los documentos de preparación y las etiquetas de los productos, etc. Existe asimismo una amplia gama de tecnologías que ayudan a reducir el riesgo de error humano en preparación, como los sistemas *pick-to-light*, los lectores de códigos de barras o de etiquetas RFID o los controles ponderales en los carritos de preparación.

En las últimas décadas, con el fin de facilitar la consecución de estos objetivos y especialmente los dos primeros, muchos investigadores han tratado de identificar las políticas o combinación de políticas de generación de lotes de preparación, de asignación de emplazamientos y de cálculo de rutas de *picking* que conduzcan a una mayor eficiencia del sistema de preparación (Jarvis y McDowell, 1991; Gibson y Sharp, 1992; Petersen y Aase, 2004; Bartholdi y Hackman, 2007). En el epígrafe 2 de este artículo se revisan brevemente las políticas más usuales. Generalmente, estas políticas se traducen en reglas de funcionamiento para los sistemas informáticos que gestionan el almacén (SGA, Sistema de Gestión de Almacenes, del término anglosajón WMS, *Warehouse Management System*). Sin embargo, todos los beneficios en términos de reducción de costes y de mejora del nivel de servicio que la empresa puede alcanzar se perderían si los emplazamientos de *picking* no están co-

rectamente aprovisionados. ¿Qué interés puede tener el emplear recursos para calcular el lote de preparación más conveniente o la ruta de *picking* óptima, con el fin de reducir los tiempos de desplazamiento de los preparadores, si algunos emplazamientos tienen que visitarse al menos dos veces porque estaban vacíos en el momento en que se necesitaba realizar la extracción del producto? Todos los esfuerzos de optimización realizados no serían efectivos en esta situación. Este es el caso que se presenta en este trabajo, en el que se describe como una conocida firma de cosmética de lujo se encontraba con que algunos emplazamientos de *picking* estaban vacíos, aún disponiendo de un nivel de inventario global en la central claramente suficiente para responder a los pedidos en preparación. El problema se localizaba aparentemente en el reaprovisionamiento del área de preparación de unidades: la empresa disponía en el almacén de suficiente inventario para satisfacer los pedidos, pero éste no se encontraba en la zona de preparación adecuada. En este artículo, se presenta la propuesta de una nueva política de reaprovisionamiento de los emplazamientos de *picking* y los resultados de su implantación.

2. Revisión de las políticas de picking, asignación de emplazamientos y cálculo de rutas de preparación

2.1. Políticas de picking

Las políticas de *picking* determinan el modo en que deben agruparse los pedidos para ser preparados juntos, de forma que las referencias o SKUs (*Stock Keeping Units*) correspondientes a los pedidos seleccionados se sitúen juntos en una lista de *picking* que será entregada a un único preparador. Algunas políticas de preparación clásicas son: *picking* por pedido, *picking* por lotes, *picking* por zonas o *picking* por olas de preparación.

En las políticas de *picking* por pedido, el preparador realiza una vuelta completa al almacén para retirar todos los SKUs correspondientes a un único pedido. Cada lista de *picking* se corresponde con un sólo pedido. Las políticas de *picking* por lotes consisten en agrupar varios pedidos (el lote) cuyas líneas serán preparadas conjuntamente. El objetivo en este caso es reducir el tiempo de desplazamiento del preparador, que puede retirar en este caso más productos en un único viaje. Se conocen dos variantes del *picking* por lotes: *sort-while-pick* (ordenación *ex ante*) y *pick-and-sort* (ordenación *ex post*). En la primera, cada *pick* es seguido inmediatamente de la colo-

cación del artículo en la caja correcta, mientras que, en la segunda, se van retirando los productos sin distinguir el pedido al que corresponden, siendo necesario un proceso adicional de clasificación por pedido aguas abajo.

En las políticas de *picking* por zonas, el área de preparación se divide en zonas, cada una de las cuales es atendida por un grupo de preparadores diferente. También existen 2 variantes: zonas progresivas y zonas sincronizadas. La primera variante se asemejaría a una línea de montaje para la preparación de pedidos: los pedidos pasan de una zona a la siguiente, típicamente mediante una cinta transportadora, cuando se ha completado el *picking* en la zona anterior. En la variante de *picking* por zonas sincronizadas, los pedidos se van preparando en paralelo en las diferentes zonas, quedando posteriormente pendiente un proceso de consolidación. El *picking* por zonas también busca reducir el tiempo de desplazamiento del preparador, al limitar el número de emplazamientos que le corresponde visitar.

Las políticas de *picking* por olas de preparación (del inglés *wave picking*) se utilizan generalmente cuando los pedidos se agrupan en función de su destino, por ejemplo, en pedidos que tienen en común un mismo transportista con una hora de salida predeterminada. En este caso, la orden de preparación de los pedidos con un destino común se lanza simultáneamente en varias zonas del almacén, cuidando que el tamaño del lote sea el adecuado para no exceder el tiempo disponible para la preparación. Los preparadores van retirando los productos solicitados en sus respectivas zonas, realizándose la consolidación del pedido completo en los muelles de expedición. La siguiente ola de preparación empieza cuando la precedente ha sido completada.

El problema de generación de lotes de preparación consiste en, dado un conjunto de pedidos, repartirlos a dos niveles. En el primer nivel, repartirlos atendiendo al tiempo de preparación, de modo que el tiempo necesario para preparar los pedidos de un lote no exceda de un determinado intervalo horario o «duración de la ola de *picking*». Si se utiliza *picking* por zonas, la partición en lotes debe tratar también de equilibrar los esfuerzos de preparación por zonas. En un segundo nivel, debemos repartir la carga de trabajo entre los preparadores de una zona. Este problema es una variación del clásico VRP (*Vehicle Routing Problem*) cuyo objetivo es minimizar la distancia total recorrida por todos los preparadores. En esta variante, asignar un pedido a un preparador implica asignar a ese preparador la visita a todos los

emplazamientos de los artículos incluidos en el pedido. El problema se resuelve típicamente empleando técnicas heurísticas (Gu et al., 2007).

2.2. Políticas de asignación de emplazamientos

Las políticas de asignación de emplazamientos determinan el conjunto de reglas utilizadas para asignar un producto dado a una posición de almacenaje concreta. La política de asignación aleatoria se utiliza frecuentemente, por su simplicidad y alta ocupación espacial (a costa de aumentar las distancias en los desplazamientos). La política de emplazamientos dedicados consiste en asignar cada producto a un emplazamiento prefijado. Su principal desventaja es su pobre uso del espacio de almacén. Otra política intermedia entre las dos anteriores es el almacenaje por grupos, de modo que los productos se asignan a una zona del almacén en función del tipo de producto, sus características físicas, el número de *picks* o cualquier otro criterio que se considere relevante. Dentro de cada zona, los emplazamientos se asignan de forma aleatoria. Un ejemplo de esta política consistiría en formar grupos ABC atendiendo a la distribución de Pareto del número de *picks* de cada artículo. Los artículos más demandados se situarían estratégicamente en el almacén para reducir las distancias globales recorridas por los preparadores.

2.3. Políticas para el cálculo de rutas de picking

Estas políticas buscan calcular el camino que permite visitar todos los emplazamientos requeridos por la lista de *picking* y que minimiza la distancia recorrida por el preparador y consecuentemente, el tiempo de preparación del pedido. Una vez que los emplazamientos que deben visitarse han sido definidos al resolver el problema de generación de lotes, el cálculo de la ruta de *picking* es un caso particular del TSP (*Travelling Salesman Problem*) y puede resolverse tanto por métodos que conducen a soluciones óptimas como por heurísticos, que proporcionan soluciones cercanas a la óptima y son fáciles de implementar en el código de un programa.

3. Situación previa

En la Figura 1 se muestra la distribución en planta de la central logística analizada. La primera actividad que se realiza es la recepción. En la central, se reciben envíos de diferentes proveedores, tanto pertenecientes al mismo grupo empresarial como externos. En

Figura 1
Layout de la central logística

recepción, los productos se descargan a los muelles de recepción, se realiza una inspección en cantidad y calidad en caso de necesidad y se actualizan los niveles de inventario en el SGA. En recepción también se actualiza el maestro de productos, registrando dimensiones, pesos, niveles de agrupación (cajas, palets,...) y clasificación de peligrosidad (aerosoles, productos de alto contenido en alcohol) de todos aquellos productos nuevos que lleguen a la central. El número de productos nuevos en este contexto se sitúa en torno a los 200 al mes, y la tendencia es a que siga en aumento, dadas las características del mercado de la cosmética de lujo: lanzamiento de muchos productos nuevos de vida relativamente efímera, promociones estacionales, etc. El SGA asigna los emplazamientos en la zona de almacenaje de palets, empleando políticas de asignación aleatoria.

En la planta baja de la zona de almacenaje de palets tiene lugar el *picking* al cartón, que consiste en retirar productos incluidos en los pedidos del cliente cuando las cantidades permiten manejar cajas completas en lugar de artículos individuales. El preparador utiliza en este caso una transpaleta autopropulsada, un lector de código de barras y un dispositivo conectado por radiofrecuencia al sistema SGA, que indica al preparador el camino de *picking* previamente optimizado que debe seguir. En la zona de almacenaje también tiene lugar el *picking* de palets completos.

Cuando las cantidades solicitadas por el cliente son pequeñas, es necesario recurrir a operaciones de *picking* a la unidad, en las que es necesario abrir cajas y manipular artículos a nivel individual. El alto coste unitario de los productos hace necesaria la manipula-

ción de artículos individuales en el sector de la cosmética de lujo. El precio de venta de una caja completa de producto es en muchas ocasiones muy elevado y no es posible exigir al cliente, que es a su vez el distribuidor que hará llegar el producto al consumidor final, un tamaño de pedido mínimo equivalente a la cantidad contenida en una caja. Esta problemática se presenta en otros muchos sectores en los que el precio o valor de los artículos individuales es suficientemente elevado, como, por ejemplo, las piezas de recambio de los automóviles o los componentes electrónicos.

En la central analizada en este artículo, el *picking* de unidades tiene lugar en una zona separada dentro del almacén. Esta estrategia es muy habitual en centrales logísticas que necesitan recurrir a operaciones de *picking* de unidades (Van der Berg, 1998). La idea subyacente es que, al restringir las operaciones de *picking* de unidades a un área reducida y limitada del almacén, reduciremos el tiempo de preparación necesario al restringir también las distancias que deben recorrer los preparadores. En la Figura 1 se observa que la zona de *picking* a la unidad está formada por las tres Us marcadas con el rótulo DEx. Cada una de las Us está constituida por estanterías y casilleros dinámicos y contiene los productos de un grupo de marcas.

La configuración de la central logística en una zona de almacenaje de palets (P), una zona de *picking* al cartón (C) y otra zona de *picking* a la unidad (U) da como resultado que el inventario de un SKU determinado se encuentra generalmente repartido en tres emplazamientos de almacenaje. Esto significa que deben llevarse a cabo movimientos de reaprovisionamiento regulares de una zona a otra: de P a C, de P a U y de C a U, tal como se muestra en la Figura 2. La disposición en forma de U de las tres áreas de *picking* de unidades permite que los preparadores trabajen en la zona interior mientras que los reaprovisionadores alimentan los emplazamientos de *picking* por la parte exterior, con lo que se evitan congestiones y accidentes al no compartir ningún carril de circulación los carritos de *picking* y las carretillas elevadoras.

La política de *picking* empleada es olas de preparación con zonas sincronizadas. Cada ola de *picking* corresponde a una expedición, cuyo horario de salida está predefinido. El lanzamiento de la orden de preparación se produce simultáneamente en las 3 zonas (las 3 Us), que preparan los pedidos en paralelo, realizándose la consolidación final de éstos en el muelle de expedición. La preparación a la unidad se realiza con un carrito de *picking* (Figura 3) con capacidad

Figura 2
Reaprovisionamientos

para preparar 6 pedidos simultáneamente y conectado por radiofrecuencia al SGA. A través de la pantalla y las señales luminosas disponibles en el carrito, el sistema va guiando el trabajo del preparador; indicándole el camino de *picking* óptimo, así como las referencias y cantidades que debe retirar. Una señal luminosa (*put-to-light*) indica la caja en el que debe colocarse cada producto (variante *sort-while-pick*, descrita en el epígrafe 2). La comunicación por radiofrecuencia entre carritos de *picking* y servidores permite contabilizar inmediatamente cada transacción registrada en el carrito, lo que proporciona control del inventario en tiempo real en la zona de *picking* a la unidad. Para evitar errores humanos en preparación, el carrito cuenta con un control ponderal y lectores de código de barras.

Gracias al control en tiempo real del que disponemos en la zona de *picking*, podemos lanzar órdenes

Figura 3
Carrito de *picking* conectado por radiofrecuencia con el SGA

de reaprovisionamiento automáticas desde el sistema SGA cuando el nivel de inventario en un emplazamiento de preparación determinado alcanza un límite inferior, de forma análoga a los sistemas de punto de pedido. Dicho límite inferior debe ser suficiente para evitar que el emplazamiento quede vacío durante el tiempo necesario para completar la orden de reaprovisionamiento. En el sistema que estamos analizando, estas órdenes se lanzan cuando se alcanza el 30% de la capacidad total del emplazamiento. Las órdenes se reparten según el emplazamiento de destino, existiendo un carterillero encargado del reaprovisionamiento en cada una de las 3 Us. Cada uno de ellos recibe las órdenes en una impresora, que las va editando a medida que el SGA detecta la necesidad. Los reaprovisionamientos se efectúan por pequeños grupos, siguiendo una disciplina FIFO. Preparación y reaprovisionamiento tienen lugar de manera continua y simultánea a lo largo de toda la jornada.

4. Planteamiento del problema

Varios autores han tratado previamente el denominado *forward-reserve problem* (FRP), entre ellos Hackman y Platzman (1990), Frazelle et al. (1994), Van der Berg et al. (1998) y Bartholdi y Hackmann (2007). Este problema aparece cuando se decide concentrar la preparación a la unidad en un área restringida del almacén (*forward area*), separada de la zona de almacenaje en masa (*reserve area*). La ventaja de esta práctica es que las operaciones de *picking* a la unidad, ya de por sí intensivas en mano de obra al manipularse el nivel de agregación más pequeño de producto, se simplifican evitando desplazamientos improductivos. La desventaja es que tendremos que reaprovisionar frecuentemente el área de *picking* a la unidad (*forward*) desde la zona de almacenaje en masa (*reserve*). Existe, por tanto, un *trade-off* a tener en cuenta entre el ahorro que se consigue al reducir el área de *picking* a la unidad y el coste de los reaprovisionamientos que hay que realizar. El resultado de este *trade-off* depende en gran medida de los productos y cantidades que se decidan asignar al área de *picking* a la unidad. Si la cantidad asignada al área *forward* no se corresponde con la demanda del producto necesitaremos reaprovisionamientos frecuentes. El planteamiento y resolución del FRP consiste en decidir qué productos y en qué cantidades se almacenan en el área *forward*, de modo que se minimicen los costes totales de preparación y reaprovisionamiento.

Para decidir qué productos y cantidades se asignan al área de *picking* a la unidad se suele analizar la de-

manda de cada uno de los artículos, en número de *picks*. Existen varias fórmulas de asignación que pueden consultarse en los autores referenciados más arriba. Adicionalmente, Van der Berg et al. analizan un caso en que todos los movimientos de reaprovisionamiento se realizan con anterioridad al inicio de las actividades de preparación, aprovechando períodos de parada. De este modo, todos los productos necesarios para confeccionar un conjunto de pedidos se encuentran en la zona de *picking* a la unidad en las cantidades necesarias antes de la salida de los preparadores, evitándose así roturas de stock en los emplazamientos de *picking* durante la preparación.

En la central analizada, podemos identificar la zona de *picking* a la unidad (las tres Us) con el área *forward* y la zona de almacenaje de palets y cajas con el área *reserve*. Sin embargo, el esquema de reaprovisionar antes y preparar después, presentado en Van der Berg et al. (1998), no puede ser aplicado en este caso, ya que el trabajo no se organiza en períodos de parada y períodos activos, sino que la preparación transcurre de manera continua a lo largo de los 2 turnos de trabajo que se realizan. Las personas que se encargan de la preparación y del reaprovisionamiento no son las mismas y pertenecen a unidades funcionales distintas. Adicionalmente, la dirección no se plantea modificar los esquemas de trabajo actuales. Al no disponer en la literatura de un procedimiento de reaprovisionamiento con *picking* y reaprovisionamiento simultáneos, se hace necesario desarrollar el nuevo procedimiento de reaprovisionamiento que se expone en el epígrafe 5. En este caso, en lugar de reaprovisionar antes del inicio de la preparación, se dan las herramientas necesarias para que, a la vez que se lleva a cabo la actividad de

preparación, se realicen en prioridad los movimientos de stock necesarios para evitar incidencias por falta de producto en la zona *forward*. Una vez asegurado que no tendremos emplazamientos agotados en la ola de preparación actual, pasamos a reaprovisionar normalmente, siguiendo la política tradicional de realizar un movimiento de stock cuando un emplazamiento alcanza un nivel de stock dado.

5. Nuevo procedimiento de reaprovisionamiento de la zona de picking

El objetivo del procedimiento implantado es evitar el agotamiento de productos en la zona de *picking* a la unidad, sin llegar a retrasar el lanzamiento de las órdenes de preparación hasta que la zona esté correctamente aprovisionada en SKUs y cantidad. El procedimiento se apoya en dos ideas básicas:

- Determinar los emplazamientos de *picking* que contienen una cantidad insuficiente de producto para preparar todos los pedidos contenidos en la ola de preparación. Con esto, identificamos todos aquellos emplazamientos que corren el riesgo de quedar agotados en la ola de preparación actual.
- Forzar a que el reaprovisionamiento de esos emplazamientos se realice en prioridad, aún cuando la orden no haya sido lanzada por el SGA.

Para determinar los emplazamientos en (a), se crea la consulta SQL¹ sobre los datos del SGA mostrada en la Figura 4. La consulta calcula las unidades de pro-

Figura 4
Consulta sobre el SGA

Zone: PP2 Last update: 30/06/2006 12:43:08									
Picking location	Reference	Product designation	Needs	Stock	Stock-Needs	Urgency	Restock order ?	Rack capacity	Units per carton
PP2.02.09.B	09090901	Rouge a Lévrès 1 003	222	44	-178	Priority		144	24
PP2.07.05.D	01030405	Crème solaire FP15 50 ml	191	45	-146	Priority	25,417	252	42
PP2.09.08.B	09023000	Gel douche fitness 200 ml	126	77	-49	Very Urgent		180	30
PP2.50.02.B	09001705	Echantillon eau parfum 35 1.5 ml cart	624	386	-238	Very Urgent	25,432	1,296	216
PP2.02.11.C	09019444	Mousse hydratante au pamplemousse échantillon 15 ml	780	499	-281	Very Urgent		1,296	216
PP2.14.05.C	01015073	Mousse rasage extra douce XXX 200 ml	18	15	-3	Urgent	25,420	216	36
PP2.50.05.C	01033333	T-shirt lancement 2006 eau toilette 27 taille M	672	600	-72	Urgent		1,050	21
PP2.15.04.D	09412307	Lait Demaq. Ultrapure Adouciss. PS 400 ml	194	203	9	OK		252	42

¹ SQL (*Structured Query Language*) es un lenguaje de acceso a bases de datos relacionales. Permite lanzar consultas sobre los registros contenidos en una base de datos con el fin de recuperar de forma sencilla determinada información que pueda ser de interés para el usuario. Asimismo, también permite realizar modificaciones sobre la propia base de datos.

ducto necesarias para preparar los pedidos contenidos en el lote actual [columna *needs* (N)] y la cantidad de stock de ese producto presente en la zona de preparación a la unidad [columna *stock* (S)]. Si la consulta se lanza en el momento en que se inicia la preparación de una ola de *picking*, podemos anticipar que en los emplazamientos donde el stock disponible sea inferior a la cantidad de producto que se necesita en preparación ($S-N < 0$), necesariamente deberán realizarse uno o varios movimientos de reaprovisionamiento durante la presente ola si queremos evitar la falta de producto en preparación. Estos son los emplazamientos que deben reaprovisionarse de forma prioritaria. Si $S-N$ es mayor o igual que 0, durante la ola actual no se agotará el stock de ese producto en preparación y por tanto, aunque se alcance el límite inferior de stock que desencadena el lanzamiento de una orden de reaprovisionamiento, no es necesario efectuar esa orden de forma prioritaria.

Una vez identificados los productos que deben reaprovisionarse de forma urgente, se establece una ordenación del nivel de preferencia con el que deben realizarse los reaprovisionamientos. Para ello se utiliza el ratio *stock/needs*: cuanto menos inventario de un producto concreto tengamos en la zona de preparación con respecto a las necesidades registradas en los pedidos, más probable es que se agote el emplazamiento. De este modo, se tiene:

- Si $stock/needs < 0,25 \rightarrow$ Reaprovisionamiento prioritario.
- Si $0,25 \leq stock/needs < 0,75 \rightarrow$ Reaprovisionamiento muy urgente.
- Si $0,75 \leq stock/needs < 1 \rightarrow$ Reaprovisionamiento urgente.

La consulta también detecta si para un producto en concreto existe ya una orden de reaprovisionamiento generada por el sistema (columna *restock order*). Si esta existe, el operario busca entre la lista FIFO de órdenes editadas y la efectúa en prioridad. Si la orden no se ha creado aún, al no haberse alcanzado el límite inferior del 30% de la capacidad, el movimiento de stock se genera manualmente en el sistema.

Una vez realizados los movimientos de stock indicados en la consulta, se continúa realizando las órdenes de reaprovisionamiento que va generando automáticamente el sistema al alcanzarse un determinado nivel de stock en el emplazamiento, con el fin de mantener la zona correctamente abastecida de productos y evitar futuras misiones prioritarias en otras zonas

de *picking*. Por supuesto, la gerencia de la central sigue revisando de forma periódica, tal y como venía haciéndose hasta el momento, la asignación de productos y emplazamientos en la zona de *picking* a la unidad, de modo que cada producto se adjudique a un emplazamiento adecuado, en función de su demanda y volumen.

6. Resultados obtenidos

Para poder controlar la eficacia del procedimiento implementado, se define un indicador que mide el número relativo de líneas de pedido que no han podido completarse durante el camino óptimo de preparación por falta de producto en el emplazamiento. La obtención del dato es relativamente sencilla, ya que el SGA registra las incidencias producidas durante el proceso de *picking*. Cuando un preparador no puede completar un *pick* por falta de producto en el emplazamiento, el carrito de *picking* le obliga a registrar este tipo de incidencia antes de poder continuar la preparación. En la Figura 5 se aprecia como antes de la implantación del procedimiento (mes de marzo), 13,8 líneas de pedido de cada mil registraban una incidencia en preparación por falta de inventario en el emplazamiento. El procedimiento descrito se va implantando progresivamente en cada una de las 3 zonas de preparación a la unidad en los meses de abril, mayo y junio, hasta reducirse en el mes de julio el número de incidencias a sólo 2,9 líneas de cada 1.000 preparadas.

El número residual de incidencias al final del mes de julio se debe principalmente a dos factores. Por un

Figura 5
Resultados de la implantación del nuevo procedimiento

lado, pequeños fallos de ejecución del procedimiento (olvidos de lanzamiento de la consulta, malas interpretaciones en la clasificación de las urgencias), que se verán solventados a medida que el personal de la central se encuentre más habituado y entrenado en la nueva forma de trabajar. Por otro lado, pueden surgir también emplazamientos vacíos cuando el nivel de stock físicamente presente en el emplazamiento de *picking* es menor que el nivel de stock registrado en el SGA. La desconexión entre los stocks reales y los stocks informáticos ocurre con frecuencia en las centrales logísticas. Sus causas son múltiples y muy variadas, y no suele concedérsele mayor importancia siempre que la diferencia entre los stocks físicos y los informáticos se encuentre dentro de un pequeño margen controlado y estable. La consulta SQL se basa en los datos recogidos en el SGA, por lo que pequeñas desviaciones al alza del stock informático hacen que no sea posible detectar la necesidad de reaprovisionar en prioridad un emplazamiento donde el stock físico no basta para cubrir las necesidades de la presente ola de preparación.

7. Conclusiones

En este artículo se ha presentado un nuevo procedimiento interno para una central logística que pretende evitar roturas de inventario en los emplazamientos del área de *picking* a la unidad durante las operaciones de preparación. Además de analizar periódicamente la bondad de la solución del FRP, de modo que la capacidad del emplazamiento se adecue a la rotación y volumen del producto, se proponen medidas adicionales basadas en la introducción del concepto de urgencia en las órdenes de reaprovisionamiento (previamente gestionadas con una disciplina FIFO). Para medir la urgencia se define un ratio que relaciona el stock disponible con las necesidades de preparación. Dependiendo de su valor, las órdenes se clasifican en: prioritarias, muy urgentes, urgentes y no urgentes. El ratio se calcula cada vez que se lanza un nuevo lote de pedidos, lanzando una consulta SQL sobre el sistema SGA. Aunque el procedimiento se ha desarrollado e implementado en un caso concreto, lo que garantiza que su aplicación es realista, las ideas que subyacen al mismo pueden ser extensibles a muchas otras situaciones de características similares en centrales logísticas o en centros de producción.

Tras la implantación del procedimiento el número de líneas de pedido con problemas de escasez de pro-

ducto en la fase de preparación se redujo de 13,8 por cada mil líneas a 2,9 en cuatro meses (79% de reducción), lo que pone de manifiesto la eficacia de este procedimiento.

Asimismo, es de destacar la necesidad de utilizar un sistema informatizado para la gestión del almacén, sin el cual resultaría ciertamente difícil llevar a la práctica este procedimiento. Es también necesaria una adecuada coordinación de los equipos de preparación y reaprovisionamiento, al igual que en todos los eslabones de la cadena logística, tanto en los procesos internos como en la cadena extendida.

Por último, en este artículo se ponen de relieve los resultados que pueden obtenerse introduciendo pequeñas y sencillas mejoras en los procesos logísticos. En este caso, la inversión realizada ha sido mínima (el único coste relevante es el de rediseño del proceso) y se han conseguido reducir de forma significativa los costes en la preparación de pedidos. Antes de la implantación del nuevo procedimiento, una persona se dedicaba a tiempo completo a terminar *a posteriori* los pedidos inconclusos por falta de producto en el emplazamiento de *picking*. Tras la implantación, estos recursos han podido dedicarse a la preparación de pedidos en el formato habitual.

8. Bibliografía

- BARTHOLDI, J.J., y HACKMAN, S.T. (2007). *Warehouse & Distribution Science*. Disponible en: http://www2.isye.gatech.edu/people/faculty/John_Bartholdi/wh/book/editions/history.html [Consultada en Enero 2007]
- DE KOSTER, R.; LE-DUC, T., y ROODBERGEN, K.J. (2007). «Design and control of warehouse order picking: a literature review». *European Journal of Operational Research*, 182 (2), pp. 481-501.
- FRAZELLE, E.A.; HACKMAN, S.T.; PASSY, U., y PLATZMAN, L.K. (1994). «The forward-reserve problem». En: Ciriani, T.C., y Leachman, R.C. (Eds.), *Optimization in Industry 2*. Wiley, New York, pp. 43-61.
- GIBSON, D.R., y SHARP, G.P. (1992). «Order batching procedures». *European Journal of Operational Research*, 58, pp. 57-67.
- GU, J.; GOETSCHALCKX, M., y MCGINNIS, L.F. (2007). «Research on warehouse operation: A comprehensive review». *European Journal of Operational Research*, 177, pp. 1-21.
- HACKMAN, S.T., y PLATZMAN, L.K. (1990). «Near-optimal solution of generalized resource allocation problems

- with large capacities». *Operations Research*, 38 (5), pp. 902-910.
- JARVIS, J.M., y MCDOWELL, E.D. (1991). «Optimal product layout in an order picking warehouse». *IIE Transactions*, 23 (1), pp. 93-102.
- PETERSEN, C.G., y AASE, G. (2004). «A comparison of picking, storage and routing policies in manual order picking». *International Journal of Production Economics*, 92, pp. 11-19.
- VAN DER BERG, J.P.; SHARP, G.P.; GADEMANN, A.J.R.M., y POCHET, Y. (1998). «Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments». *European Journal of Operational Research*, 111, pp. 98-113.