

## **Sistema Integrado de Planificación de la Producción y Distribución para la Gestión de Excepciones**

### **An Integrated Production and Distribution Planning System for Exceptions Handling**

**Abstract (English)** In an international competitive environment, where companies can sell their products all over the world, communication and information exchange with other companies is of utmost importance. Nevertheless, most businesses are reluctant to share demand information or future plans with others. This paper describes an integrated production and distribution planning system in a supply chain with three stages: a manufacturer, its suppliers and customers. This system tries to provide solutions to improve the performance of the supply chain by identifying the information that must be exchanged between nodes and developing methodologies for production and distribution planning and scheduling in a coordinated manner. Moreover, a number of exceptions have been considered to make the model as realistic as possible.

**Resumen (Castellano)** En un entorno internacional tan competitivo, donde las empresas pueden vender sus productos por todo el mundo, la comunicación y el intercambio de información con otras empresas adquiere la máxima importancia. Sin embargo, la mayoría de las empresas son reacias a compartir informaciones sobre su demanda o sus planes futuros con otras empresas. Este artículo describe un sistema integrado de planificación de la producción y de la distribución para una cadena de suministro con tres etapas: un fabricante, sus proveedores y sus clientes. Este sistema trata de proporcionar soluciones para mejorar la gestión de la cadena de suministro mediante la identificación de la información a intercambiar entre los nodos y mediante metodologías de planificación de producción y distribución que operan de forma coordinada. Además, se han considerado una serie de excepciones para hacer el modelo lo más realista posible.

**Keywords:** Exceptions Handling, Supply Chain Management, Coordination in the Supply Chain

**Palabras clave:** Gestión de Excepciones, Integración de la Cadena de Suministro; Coordinación en la Cadena de Suministro

## 1 Introducción

Hasta hace poco tiempo, las empresas solían centrar sus esfuerzos en mejorar las tareas propias de su negocio, buscando una ventaja competitiva en el mercado al margen de otras empresas con las que trabajaban. Hoy en día, debido a factores como la gran competitividad entre empresas de todos los sectores y la globalización de los mercados, es preciso buscar fuentes de diferenciación y reducciones de coste no sólo en los procesos propios, sino también en los de los proveedores y clientes. Sin embargo, en la práctica, las empresas no suelen ser muy proclives a trabajar conjuntamente con otros miembros de las cadenas de suministro a las que pertenecen por miedo a revelar y compartir sus datos con otras empresas.

## 2 Alcance del Problema

Este artículo describe la arquitectura de un sistema integrado de planificación de la producción y distribución de una cadena de suministro integrada por tres niveles: suministradores, fabricante y clientes. Este sistema trata de ofrecer soluciones que beneficien a la cadena de suministro en su conjunto mediante la identificación de información que a intercambiar entre los diferentes nodos y mediante el desarrollo de metodologías para la programación de la producción y la planificación de la distribución de forma coordinada. A este respecto, este artículo estudia en profundidad las implicaciones que un cambio en la cadena de suministro tiene en otras entidades relacionadas. Así, el objetivo es conectar la programación de la producción y la planificación de la distribución de las diferentes entidades de la cadena de suministro para lograr una mejor solución global. Esta investigación forma parte del proyecto PRODIS (Referencia PI2011-58, financiado por el Gobierno Vasco).

Por lo que a la programación de la producción se refiere, tradicionalmente cada compañía ha generado su propio plan de producción de forma estática e independiente. Igualmente, con respecto a la distribución de pedidos a clientes, se ha analizado en profundidad el problema de asignación de rutas a vehículos, del inglés *Vehicle Routing Problem, VRP*. No obstante, los problemas de producción y distribución de forma dinámica atraen cada vez más interés por su cercanía con las situaciones reales y sus potenciales beneficios para las empresas. La integración de los problemas de producción-distribución apenas se ha analizado en la literatura (Park y Hong, 2009), (Safei et al., 2010), (Bilgen y Günther, 2010). En general, estos modelos usan supuestos simplistas y trabajan únicamente de forma estática, lo que significa que no son fácilmente aplicables en las empresas.

Esta investigación propone un sistema para la programación de la producción y la planificación de la distribución integrada, con los siguientes objetivos:

- Identificación de la información a transmitir entre los distintos eslabones de la cadena.
- Coordinación con los proveedores y los clientes para asegurar tanto la disponibilidad de las materias primas como para ajustar la producción y la distribución a las necesidades no planificadas.
- Manejo de excepciones en tiempo real.

### 3 Marco General del Sistema

La empresa fabricante consta de múltiples plantas de producción funcionando de forma autónoma e independiente, pero capaces de compartir información y trabajar de forma conjunta si algún evento imprevisto así lo requiere. A su vez, la empresa dispone de múltiples almacenes autónomos e independientes entre sí, que también comparten información entre ellos y pueden trabajar conjuntamente con otros almacenes si fuera necesario.

El marco general de comunicación del sistema se muestra a continuación (ver fig. 1).

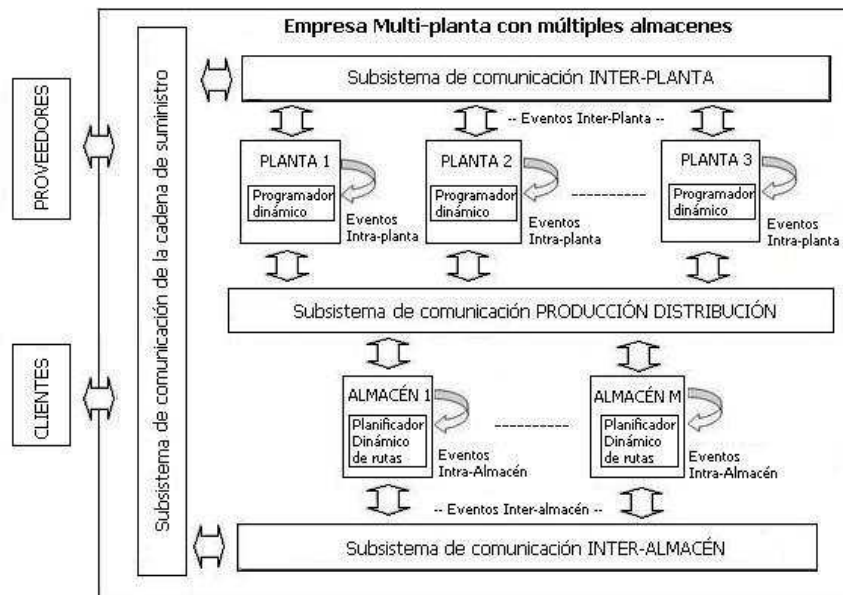


Fig. 1 Esquema de una empresa multi-planta con múltiples almacenes

Los subsistemas de comunicación que se han definido en este marco son:

- El subsistema de comunicación intra-planta, en el que se gestionan los eventos imprevistos que pueden ocasionar una reprogramación parcial o total del plan de producción. De la misma forma, el subsistema de comunicación intra-almacén, en el que se gestionan los eventos imprevistos que pueden ocasionar una replanificación parcial o total del plan de distribución.
- El subsistema de comunicación inter-planta, en el que se gestionan los eventos producidos en una planta que pueden afectar a otra u otras plantas. Paralelamente, el subsistema de comunicación inter-almacén, en el que se gestionan los eventos producidos en un almacén que pueden afectar a otro u otros almacenes.
- El subsistema de comunicación producción-distribución, en el que se gestionan los eventos imprevistos ocurridos en las plantas que pueden afectar a los almacenes, o los eventos imprevistos en los almacenes que puedan afectar a las plantas.
- El subsistema de comunicación con la cadena de suministro, en el que se gestionan los eventos producidos en una planta que pueden afectar a proveedores y/o clientes.

## 4 Excepciones

Uno de los puntos más importantes que aporta este sistema es el tratamiento de excepciones en tiempo real, dando respuesta prácticamente inmediata a cualquier evento imprevisto que ocurra. Concretamente, las excepciones se han clasificado en dos grupos: internas, que son las relacionadas con la propia empresa y pueden tener su origen en la producción o en la distribución, y externas, las cuales hacen referencia a eventos que tienen su origen en los proveedores o en los clientes.

**Tabla 1.** Tipos de excepciones

Excepciones internas		Excepciones externas	
Relacionadas con la Producción	Relacionadas con la Distribución	Relacionadas con los Proveedores	Relacionadas con los Clientes
Máquina averiada	Vehículo averiado	Devolución de material	Adelanto de fecha de pedido
Operario Ausente	Conductor ausente	Entrega parcial	Retraso de fecha de pedido
Orden suspendida	Retrasos por tráfico	Entrega defectuosa	Nuevo pedido urgente
Repetición de piezas defectuosas	Pedido entregado por error	Entrega cancelada	

## ***4.1 Tratamiento de Excepciones***

En este punto, se va a proporcionar una breve explicación sobre cómo un evento inesperado o excepción es tratado por el sistema.

En particular, se va a explicar una excepción interna relacionada con la distribución, concretamente la que hemos denominado *Pedido Entregado por Error*. Esta excepción se produce cuando se entrega al cliente un pedido que no se corresponde con el suyo, bien debido a un error del conductor del vehículo o del etiquetado del pedido.

Dependiendo del acuerdo que se alcance con el cliente para tratar este error pueden darse tres casos:

1. Dejar el pedido pendiente e incluirlo en los planes futuros.
2. Entregar el pedido de forma urgente.
3. Cancelar el pedido, por deseo del cliente.

En cualquier caso, habrá que recoger el pedido entregado por error. Para ello, el pedido a recoger se considerará como uno más dentro de la ruta de reparto, con la peculiaridad de que este se recogerá una vez se terminen de entregar los pedidos al resto de los clientes.

## **5 El Problema de la Distribución**

Como se ha explicado anteriormente, en este proyecto existen dos fases: producción y distribución. La etapa de producción es la encargada de poner a disposición de la etapa de distribución los materiales necesarios para abastecer a los clientes que solicitan la entrega de pedidos. En este problema contaremos con múltiples almacenes de distribución, a los cuales se asignan pedidos de clientes en función, entre otros, de criterios de proximidad. Esto quiere decir que se trabajará con el supuesto de que un cliente tan solo podrá ser abastecido por los vehículos asignados a un solo almacén.

### ***5.1 Especificaciones del Problema***

El problema de distribución que se va a tratar es el denominado Dynamic Vehicle Routing Problem with Backhauls y Time Windows, el cual es un híbrido entre tres problemas distintos de asignación de rutas a vehículos. A continuación se explica-

rán por separado las tres características del problema: Dinamismo, Backhauls y Ventanas de Tiempo.

**Dinamismo:** El dinamismo en problemas de asignación de rutas a vehículos es un campo relativamente nuevo en el que muchos investigadores están haciendo hincapié en los últimos años (Pillac et al., 2011). El dinamismo supone que las rutas previamente planificadas requieran una replanificación. En este caso, el dinamismo se va a producir debido a la aparición de ciertas incidencias o excepciones, varias de las cuales están recogidas en la tabla 1. Una vez se produzca alguna de estas incidencias, será preciso decidir si conviene replanificar alguna de las rutas (para evitar en la mayor medida posible el incumplimiento de la ruta afectada), o dejar que los clientes implicados se queden sin servicio. Para ello, se calcularán los posibles costes en que la empresa incurrirá para cada una de las opciones y se elegirá la decisión menos cara.

**Backhauls:** Estos hacen referencia al retorno de mercancías, lo cual supone que los clientes podrán demandar la entrega o la recogida de mercancías (Toth y Vigo, 2000). En este problema, la capacidad de los vehículos se convierte en un factor de extrema importancia. La Interstate Commerce Commission estimó que, gracias al backhauling, en Estados Unidos el ahorro dentro de la industria de comestibles había alcanzado los 160 millones de dólares (Golden et al., 1985). En este proyecto, los clientes podrán solicitar la recogida o la entrega de mercancías, pero nunca las dos de forma simultánea. Además, de forma obligatoria, se realizarán primero las entregas de los materiales para dar paso después a las recogidas. La razón de trabajar de esta manera es que, de lo contrario, a menudo sería necesario reacondicionar los materiales dentro de la unidad móvil, lo cual podría ser contraproducente. En este caso, el retorno de mercancías se produce cuando algún cliente no queda satisfecho con el pedido recibido y decide devolverlo a la empresa

**Ventanas de tiempo:** Esta característica permite que cada cliente tenga una ventana temporal asociada  $[e_i, l_i]$ . Este rango temporal posee un límite inferior y un límite superior que las unidades móviles tienen que respetar, es decir, que tienen que atender la demanda del cliente dentro de esa ventana. De esta forma, una ruta no será factible si un vehículo llega a un cliente después del límite superior del intervalo. Este problema ha sido ampliamente estudiado a lo largo de la historia (Condeau et al., 1999). Una de las razones por las que ha suscitado tanto interés ha sido su doble naturaleza, ya que puede considerarse como un problema de dos fases, una fase referente a la planificación de cargas y otra relativa a la programación de rutas. Otra razón aparte es la fácil adaptación al mundo real, ya que en la gran mayoría de las empresas los clientes presentan fuertes restricciones temporales que han de ser cumplidas.

## 5.2 Función Objetivo

Teniendo en cuenta las características del problema mencionadas en el apartado anterior, los clientes pueden demandar la entrega o la recogida de mercancías, dentro de unas ventanas temporales. Aparte de esto, el problema cuenta con el dinamismo que ofrece el tratamiento de eventos imprevistos. La función objetivo a minimizar que se ha planteado para este D-VRPBTW (Dynamic Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows) es la siguiente:

$$\sum_{k \in M} F_k \sum_{j \in V'} x_{0j}^k + \sum_{k \in M} c_k \sum_{i,j \in V} d_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in M} PC_k + \sum_{i,j \in V} PCNS x_{ij} + \sum_{k \in M} HE_k \quad (1.1)$$

**Tabla 2** Términos de la función objetivo

$\sum_{k \in M} F_k \sum_{j \in V'} x_{0j}^k$	<b>Coste de utilización por vehículo:</b> Por cada vehículo que se haya utilizado se suma a la función su coste fijo. La variable $F_k$ es el coste fijo de cada vehículo, los cuales vienen agrupados en $M$ . $x_{ij}^k$ es una variable binaria que indica si el vehículo $k$ ha pasado por el arco $i, j$ . Todos los nodos vienen agrupados en $V$ .
$\sum_{k \in M} c_k \sum_{i,j \in V} d_{ij}^k x_{ij}^k$	<b>Coste de distancia recorrida:</b> El coste es igual a la distancia total recorrida por cada una de las rutas multiplicado por el coste variable del vehículo. La variable $c_k$ indica el coste variable de un vehículo mientras que $d_{ij}^k$ es la distancia que hay entre los clientes $i$ y $j$ .
$\sum_{k \in M} PC_k$	<b>Penalización por desocupación:</b> Por cada vehículo se examinará la carga que lleva y se añadirá cierta penalización en caso de que esté poco ocupado. Esta penalización se aplicará a los vehículos que vayan cargados por debajo del 75% de su capacidad y aumentará a medida que la desocupación crezca.
$\sum_{i,j \in V} PCNS x_{ij}$	<b>Penalización por cliente no servido:</b> En caso de que debido a alguna incidencia algún cliente quede desabastecido, se impondrá una penalización a la función objetivo, la cual variará en función de la importancia del cliente y de la cantidad de mercancía que demande entregar o devolver.
$\sum_{k \in M} HE_k$	<b>Coste de exceso de tiempo:</b> Este coste se produce si la duración de la ruta supera las horas totales de trabajo que puede realizar el conductor. Para ello, se multiplica el exceso de horas por el coste de cada hora extra.

## 5.3 Técnicas de Resolución Propuestas

Para el tratamiento del problema se ha propuesto la utilización de dos diferentes meta-heurísticas, que se corresponden con algunas de las más utilizadas para problemas de optimización combinatoria a lo largo de la historia. Concretamente, se

trata de la búsqueda tabú (Basu y Ghosh, 2008) y el algoritmo genético (Holland, 1975).

## 6 Conclusiones

La sincronización de la información entre los distintos eslabones que constituyen la cadena de suministro y su reacción ante posibles eventos imprevistos resulta una potente ayuda para que las empresas puedan ser más competitivas.

En este artículo, se ha propuesto un sistema de planificación de producción y distribución de forma integrada. Este sistema trata de proporcionar soluciones para gestionar los eventos imprevistos aportando beneficios a la cadena de suministro gracias a la identificación de la información que debe ser intercambiada entre los diferentes nodos y al desarrollo de metodologías para la planificación de la producción y la distribución de manera coordinada.

## 7 Referencias

- Basu S, Ghosh D (2008) A review of the tabu search literature on traveling salesman problem. IIMA Working Papers. Indian Institute of Management Ahmedabad. 1-16.2008.
- Bilgen B, Günther HO (2010) Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application, OR Spectrum, 2010. Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2013
- Condeau F, Desaulniers G, Desrosiers J, Solomon M, Soumis F (1999) The VRP with time windows. Technical Report Cahiers du GERAD G-99-13, École des Hautes Études Commerciales de Montréal.
- Golden BL, Baker E, Alfaro J, Schaffer J (1985) The vehicle routing problem with backhauling: two approaches. In R. Hammesfahr, Proceedings of the XXI Annual Meeting of S.F. TIMS, Myrtle Beach, SC. 90-92.
- Holland JH (1975) Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. Oxford, England: University of Michigan Press.
- Park Y, Hong S (2009) Integrated production and distribution planning for single-period inventory products. International Journal of Computer, Integrated Manufacturing, Vol. 22, No. 5, 443–457.
- Pillac V, Gendreau M, Guéret C, Medaglia AL (2011) A review of Dynamic Vehicle Routing Problem. Industrial Engineering: 0-28.
- Safaei AS, Moattar Hussein SM, Farahani RZ, Jolai F, Ghodsypour SH (2010) Integrated multi-site production-distribution chain by hybrid modeling. International Journal of Production Research, Vol.48, No. 14, 4043–4069, 2010.
- Toth P, Vigo D (2000) VRP with backhauls. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. In Toth P. and Vigo D. The Vehicle Routing Problem. SIAM: 195-224. 2000.