

Reprogramación en tiempo real de la distribución física de una empresa

Anna M. Coves¹, M^a Antonia de los Santos²

¹ Instituto de Organización y Control/Depto. de Organización de Empresas. ETSEIB- UPC. Avda Diagonal 647. Barcelona 08028. anna.maria.coves@upc.edu

² Depto. Ingeniería Mecánica. ETSEIB- UPC. Avda Diagonal 647. Barcelona 08028. tania.santos@upc.edu

Palabras clave: algoritmos heurísticos, programación, reprogramación en tiempo real.

1. Introducción

La programación integrada de la producción y de la distribución es crucial para uno de los productos del sector de la construcción, cuya caducidad es de, aproximadamente, una hora y media. La empresa en cuestión dispone de plantas distribuidas geográficamente por el territorio, cada una tiene asociado su coste de producción y su capacidad, ésta última medida en número de bocas de carga de los vehículos y en tiempo de carga. Los pedidos que deben ser suministrados el día D, deben respetar el volumen solicitado por el cliente, así como el nivel de servicio pactado, en cuanto a hora de entrega del primer viaje y la frecuencia de los envíos, ya que habitualmente el volumen solicitado requiere el envío de varios vehículos. El nivel de servicio también incluye los márgenes asociados tanto a la primera entrega como a las siguientes, típicamente el margen en la primera entrega de cada pedido es más amplio que para los demás envíos. Cada pedido tiene asociado asimismo su tiempo de descarga. Una vez iniciado el suministro, el servicio se realiza sin interrupción con una determinada frecuencia y respetando los márgenes pactados. Los pedidos pueden ser abastecidos desde varias plantas, en función de su localización y del tipo de producto a suministrar. Para realizar el suministro la empresa dispone de vehículos propios que pueden ser ampliados mediante subcontratación. Existen dos modalidades de subcontratación por volumen servido o por horas trabajadas. Los vehículos propios tienen un coste adicional en el caso de realizar horas extras. Al final del día D-1 se deben planificar y programar los recursos para el día siguiente. Es decir se debe realizar la asignación de pedidos a las plantas, determinar el número de vehículos necesarios al inicio del día D en cada una de ellas, así como su tipología ya sean propios o en alguna de las modalidades de subcontratación. También es necesario programar las plantas y los vehículos para que, durante el día D, se lleve a cabo el suministro que garantice el nivel de servicio pactado previamente con el cliente y todo ello con el mínimo coste.

Presentamos a continuación las características de nuestro caso haciendo especial énfasis en las incidencias surgidas a lo largo del día D, objeto del presente trabajo, que alteran la programación realizada el día anterior. Se describen los algoritmos que se han diseñado para resolver esta necesidad de realizar una reprogramación a lo largo del día D, en tiempo real, así como los resultados obtenidos y finalmente expresamos las conclusiones y líneas de futuro de este trabajo.

2. La programación realizada el día D-1

El caso que planteamos en el presente estudio se corresponde con la programación de operaciones a carga finita (Chase et al., 2004; Heizer et al., 2006) en donde se programa con detalle el uso de cada recurso a lo largo del día. El recurso crítico de producción es la capacidad de las plantas, definida por el número de bocas de carga y por el tiempo de carga de un vehículo. El recurso crítico de distribución es el número de vehículos disponibles, de los que conocemos sus costes en función de si son propios o subcontratados (en sus dos modalidades), o de si realizan el trabajo en las horas normales o en horas extras.

Las referencias sobre la programación de las operaciones de producción y de distribución son muy extensas, se ha partido de algunas definiciones que existen en la literatura (Heizer et al., 2006; Miranda et al., 2005; Chase et al., 2004), y se han adecuado a nuestro caso. Así pues el problema consiste en asignar los pedidos a las plantas productivas, después secuenciar éstos en cada planta de acuerdo a unas prioridades establecidas y finalmente determinar un tiempo de inicio y de fin de cada operación, ya sea de una planta o de un vehículo.

La programación se realiza “hacia atrás”, se parte del instante de entrega del pedido al cliente y se programan las tareas requeridas en secuencia inversa (Chase et al., 2004; Heizer et al., 2006). El objetivo de la programación, efectuada el día anterior a la realización de la producción y distribución, es decir realizada el día D-1, es el de asignar los pedidos a las plantas y determinar el número de vehículos que deben asignarse a cada planta y las horas de inicio de carga de vehículos para cada viaje. Para ello se conoce además de la capacidad de cada planta, las distancias de cada cliente a cada posible planta suministradora, el volumen de cada pedido (o número de viajes de cada pedido) con la frecuencia de viajes solicitada y los márgenes específicos de cada cliente en la hora de entrega del primer envío. El criterio de optimización es el de minimizar el número de vehículos necesarios.

El problema básico de realizar la programación y distribución del día siguiente para el producto que nos ocupa, es un problema NP-hard como se demuestra en Asbach et al., (2007), donde también se plantea un modelo basado en PLEM (Programación Lineal Entera y Mixta). Los autores de este trabajo desarrollan un algoritmo genético para resolver los ejemplares de dimensión industrial que no pueden ser resueltos, en un tiempo asequible, mediante PLEM.

En el presente trabajo se supone que ya se dispone de la programación, realizada en el día D-1, de la producción y de la distribución que será ejecutada en el día D (Coves et al., 2007). Los autores en dicho trabajo proponen la realización de la programación en el día D-1 mediante el uso de algoritmos basados en reglas y también mediante el uso de un algoritmo basado en búsqueda tabú.

El objeto del trabajo que aquí se presenta es diseñar los algoritmos que serán ejecutados en tiempo real, para realizar la reprogramación de la producción y la distribución, durante el día D, ya que la programación realizada el día anterior queda notablemente alterada debido a las incidencias que van surgiendo.

3. Las incidencias y la reprogramación del día D

El programa, obtenido el día anterior al suministro, queda notablemente alterado por las numerosas incidencias que van apareciendo a lo largo del día D. Las incidencias consideradas son: aparición de nuevos pedidos, cancelación de pedidos, variaciones en la cantidad solicitada por el cliente, confirmación del “resto”, retorno de producto, paradas de plantas etc.. Para poder hacer frente a dichas incidencias se hace necesario efectuar la reprogramación de las operaciones. En el presente trabajo se propone un conjunto de algoritmos heurísticos diseñados para resolver el problema de la reprogramación en un entorno industrial, ya que como se ha comentado anteriormente no sería resoluble, en un tiempo asequible, por métodos exactos.

Para hacer frente a las incidencias producidas durante el día D, debemos disponer de la información actualizada (“online”) del funcionamiento de los recursos, tanto productivos como de distribución. Matsatsinis (2004), propone realizar la reprogramación de operaciones para obtener las rutas de los vehículos utilizados en la distribución diaria de un producto del sector de la construcción con caducidad aproximada de dos horas. En dicho trabajo no se incluye la capacidad de producción de las plantas, ni la asignación de pedidos a las plantas. El algoritmo heurístico da como resultado las rutas de cada vehículo.

Naso *et al* (2007), presentan un modelo matemático no lineal y un algoritmo híbrido (algoritmo constructivo y algoritmo genético) para optimizar la planificación de la producción y distribución de un conjunto de centros, parcialmente independientes, que suministran el producto en cuestión. Los centros, aun siendo independientes, son coordinados por un sistema central de planificación, atendiendo a la tendencia actual de cooperación de organizaciones en la Gestión de la Cadena de Suministro. En el caso de estudio que presentan dichos autores, los pedidos tienen asociado un intervalo de tiempo en el que se debe suministrar la totalidad del pedido, un tiempo de descarga conocido, un tiempo fijo de espera del vehículo antes de la descarga, un porcentaje del vehículo vacío para garantizar la calidad del producto. Los vehículos a su vez tienen asociada una capacidad de carga y la posibilidad de realizar horas extras. El objetivo utilizado en la programación ha sido el de minimizar los costes, apuntan que en un futuro tienen la intención de incorporar múltiples objetivos. Indican que el prototipo que han realizado precisa de una programación más eficiente para poder ser utilizado en tiempo real. Recordemos que éste es precisamente el objeto del presente trabajo.

En nuestro caso la reprogramación debe realizarse con los vehículos y plantas disponibles en cada momento. Los vehículos no podrán nunca exceder a los que se determinaron necesarios el día anterior. Es decir no pueden incorporarse nuevos vehículos durante el día. El objetivo en la reprogramación ya no es el de minimizar el número de vehículos necesarios, sino el de garantizar el servicio pactado con el cliente, a pesar de las incidencias acaecidas.

Como puede verse a partir del estudio de nuestro caso y de los estudios referenciados, existe la necesidad de disponer de herramientas para realizar la reprogramación durante el día D. Los algoritmos que darán soporte a dichas herramientas se describen en el siguiente apartado.

4. Algoritmos de soporte a la reprogramación durante el día D

Es preciso disponer de la información de la incidencia en el momento en que aparece, por ello la empresa dispone de automatismos que detectan y comunican la incidencia “online”, como son el uso de GPS en todos los vehículos y los controles de planta automatizados, tanto productivos como de llegada de vehículos a planta, conjuntamente con la información

recibida de los clientes a través del “call center”, integrado en el CRM de la empresa (Customer Relationship Management).

La empresa informa al cliente del estado de su pedido, mediante mensajes GSM. Si se produce un retraso del vehículo, debido a motivos como densidad de tráfico, avería, error en la ruta, . . . , el retraso afectará a la hora de llegada a planta y a las horas de salida programadas para dicho vehículo. Se debe replanificar con la nueva información.

Para resolver esta problemática proponemos, un conjunto de algoritmos basados en reglas (Michalewicz *et al*, 2004), que tienen su origen en los algoritmos diseñados, con anterioridad por los autores del presente trabajo, para optimizar la programación del día anterior (Coves *et al*, 2007), como se ha comentado anteriormente.

En la resolución de incidencias se prioriza el respeto a las condiciones pactadas con el cliente, a ser posible sin un aumento de los costes obtenidos tras la optimización realizada el día anterior, es decir se priorizará no cambiar ni los pedidos ni los vehículos de planta, si no es necesario para cumplir con las condiciones del cliente. Si las circunstancias no permiten dar una solución satisfactoria, deberá producirse una intervención por parte del responsable, de modo que relajando alguna condición (hora de inicio, margen en las entregas, frecuencia de envíos..) permita encontrar la mejor solución. El funcionamiento de los algoritmos ha sido validado a partir de datos industriales procedentes de diversas jornadas laborales.

El hecho de surgir una incidencia no representa necesariamente una replanificación. Se utilizarán los algoritmos de resolución de incidencias sólo si afectan a las necesidades mínimas de vehículos, ya que este hecho provocará que en algún punto de la distribución no se podrá servir algún pedido tal y como estaban planificados el día anterior.

Para resolver cada una de las incidencias previstas se ha diseñado un conjunto específico de algoritmos, que denominamos herramienta. Así denominamos *herramienta para servir un pedido* al conjunto de algoritmos diseñados para resolver dicha incidencia.

Las dos ideas básicas de los algoritmos que constituyen las herramientas específicas son:

- *Mover pedidos*. Desplazamiento de la entrega de pedidos a lo largo del horizonte de programación, ya sea desde la misma planta, cambiando la hora de entrega o bien realizando un cambio de asignación de planta. Este algoritmo se efectúa, tal y como se ha comentado anteriormente, tras disponer de la información proporcionada por el algoritmo que ha determinado la mejor hora/mejor planta para servir un pedido.
- *Cambiar un vehículo de planta*. Evaluación y decisión de efectuar el cambio de asignación de vehículos de una a otra planta.

A continuación se presenta una breve descripción de las herramientas desarrolladas.

Herramienta para servir un nuevo pedido: Se considera aquel pedido que no ha estado planificado en el día D-1 y deba ser servido el día D. Corresponde al caso en que el cliente solicita un pedido urgente, también si por algún motivo no se ha entregado al cliente la calidad pactada se introduce su substitución como un nuevo pedido a servir. En primer lugar se añade el pedido a cualquier planta, en cualquier instante de tiempo. Se escogerá como planta asignada aquella que tenga la distancia mínima y se comprobará que el conjunto de salida y llegadas del nuevo pedido no provoque un aumento de las necesidades mínimas de vehículos. Si esto sucediera se utilizaría el margen reducido para retrasar el pedido. Si con

esto no se solucionara el aumento, se intentaría un cambio a otra planta de la zona, en función de la distancia. Si la nueva planta no pudiera aceptar el pedido se utilizaría el margen ampliado en la planta inicial para retrasar el pedido a un punto donde se pueda servir en su totalidad. Si finalmente no se consiguiera situar el pedido se necesitaría la intervención de un planificador que tendría que escoger aceptar o no el pedido o negociar una nueva hora con el cliente.

Herramienta para cancelar un pedido: Un cliente puede cancelar un pedido y éste deberá ser eliminado de la planta donde esté asignado. Una cancelación puede provocar un aumento de necesidades mínimas de vehículos al eliminar posibles llegadas programadas a planta, provenientes de dicho cliente, que se esperaban para servir otros pedidos. Cuando se eliminan las salidas de dicho pedido se puede producir una disminución de dicha necesidad de vehículos. En caso de que se produzca un aumento en la necesidad de vehículos, se utilizaran los algoritmos de avance, retraso y cambio de planta para realizar al replanificación con el objetivo de mantener la flota de vehículos inicialmente planificada en la zona. Si se produce una reducción en la necesidad de vehículos se puede considerar la posibilidad de redirigir los vehículos sobrantes a otras plantas.

Herramienta para modificar especificaciones de un pedido: En este caso nos referimos a que puede producirse alteraciones en las especificaciones del cliente, como es un aumento en el volumen solicitado, un cambio en la frecuencia de entrega o en la hora de inicio o incluso un cambio de destino. Si se produce un *aumento en el volumen* solicitado implicará un aumento en las salidas y llegadas de vehículos, en este caso puede que no se considere prioritaria mantener la frecuencia de entrega por lo que en la replanificación se utilizaran dos opciones: se mantiene la frecuencia y si provoca un aumento en la necesidad de vehículos se replanifican el resto de obras a partir de la incidencia utilizando el algoritmo de avance o retraso y cambio de planta, o bien se trata el aumento de volumen como si de un nuevo pedido se tratase situando los nuevos trayectos en la posición más conveniente utilizando los algoritmos de avance y retraso para evitar que aparezcan nuevas necesidades de vehículos. En el caso de *disminución de volumen* se trata como si de una anulación se tratase, caso comentado anteriormente. En la *modificación de la frecuencia*, se considera el segundo tramo como un pedido independiente, anulando el resto programado y se replanifica mediante avance, retraso o cambio de planta. Si se *altera la hora de inicio del pedido*, se desplazan todos los viajes de dicho pedido y si produce una necesidad de vehículos será preciso una replanificación. Un *cambio de destino* ocasiona una variación en la hora de salida de planta, ya que la distancia será otra y puede provocar un aumento en la necesidad de vehículos, en dicho caso debe realizarse una replanificación con los algoritmos de avance, retraso y cambio de planta.

Herramienta de confirmación y asignación de resto: antes del último trayecto previsto para cada pedido, el cliente confirma la cantidad que falta servir para completar el pedido, ya que habitualmente la cantidad de producto solicitada inicialmente es sólo una aproximación a la cantidad realmente requerida y suministrada al cliente, dicha variación respecto a la inicialmente solicitada se la denomina “resto”. En este momento se asigna un nuevo volumen si el cliente así lo demanda. Este aumento de volumen equivale a un aumento de salidas y llegadas que se asignan a continuación de los trayectos anteriores del pedido, siguiendo la periodicidad de entregas. Si este aumento de trayectos provocara un aumento en las necesidades mínimas de vehículos en la planta, se ejecutarán los algoritmos de resolución de incidencias que afectan a los pedidos, con el objetivo de retrasar o cambiar de planta los pedidos situados en el instante donde se produce el aumento. El resto confirmado no se verá afectado ya que tiene prioridad delante de otros pedidos que se estén realizando en el mismo

instante de tiempo.

Herramienta de retorno de producto: Esta incidencia afecta al instante planificado de disponibilidad de vehículo en la planta. Esta incidencia puede provocar la necesidad de vehículos en la planta. Si la incidencia se produce cuando el cliente ya ha iniciado la descarga y no se realiza la descarga completa, se recalcula la nueva hora prevista de disponibilidad del vehículo en la planta, considerando el tiempo necesario para que ello sea posible. El plan de la empresa permite dos opciones: descarga del resto del producto en el vertedero de la planta o bien si el producto lo permite puede regresar a planta y rellenarse el vehículo. Si la descarga no se ha iniciado también existen dos opciones: el vehículo descarga en el vertedero de la planta o se busca un cliente compatible con el producto transportado. En el segundo caso el vehículo no regresa a planta y se dirige al nuevo destino. En ambos casos debe actualizarse el instante en que de nuevo estará el vehículo disponible para un nuevo viaje.

Herramienta de parada de planta: Una parada de planta puede ser ocasionada por diversos agentes, una avería, causas meteorológicas, problemas con la disponibilidad de materias primas... La parada se produce en un determinado instante de tiempo y el algoritmo precisa de una estimación de la duración de dicha incidencia. A partir del intervalo del tiempo de parada, la herramienta se encarga de desplazar los trayectos de los pedidos que se encuentren dentro del intervalo. Cuando se quiere desplazar una obra se utiliza un margen reducido. Si no se consigue desplazar el pedido o la parte implicada fuera del intervalo, se intenta un cambio de planta, y si esto tampoco es posible, se utiliza un margen ampliado para desplazar el pedido. Si el margen ampliado tampoco fuera suficiente, se tendría que realizar una intervención personal por parte del planificador, sugiriendo cambios en los valores de los parámetros establecidos previamente. El desplazamiento de obras, ya sea en la misma planta o a otra planta de la zona, seguramente provocará un aumento en la necesidad de vehículos. Con el objetivo de minimizar este aumento se replanifica utilizando los algoritmos de avance, retraso y el de cambio de planta. El resultado de la replanificación ocasionará que los vehículos que tienen como planta asignada la que está averiada, se desplacen a otras plantas, que necesiten un mayor número de vehículos.

5. Análisis de los resultados

Para validar los algoritmos, se han aplicado datos obtenidos de diferentes jornadas laborales que son representativas de diferentes escenarios que corresponden a varios niveles de producción de las plantas. El nivel de producción de las plantas depende directamente de la demanda, es decir del número de pedidos y de su volumen. Los niveles de producción de los días se han clasificado en tres niveles, de baja demanda, de demanda media y de alta demanda.

Se ha analizado las diferencias en la distribución del día D respecto al que se ha planificado el día D-1. Los algoritmos simulan, en cada instante de tiempo y en instantes futuros, la situación y el estado de cada uno de los elementos que participan en la distribución. Permiten, por tanto, encontrar soluciones y tratar cualquier incidencia que se produzca a lo largo del día, ya que se consigue predecir las consecuencias de las incidencias y de las posibles soluciones.

Se presentan a continuación los resultados que se han obtenido de la simulación de 5 jornadas laborales, a partir de los datos proporcionados por la empresa.

Los datos utilizados corresponden a 5 jornadas laborales de una zona que denominaremos b, en la que la empresa dispone cuatro plantas de producción b1, b2 ,b3 , b4. La tabla siguiente (Tabla 1) muestra los datos correspondientes a las características de cada planta.

Tabla 1. Datos de las plantas

	Nº de bocas de carga	Máxima producción [m ³]	Tiempo de carga [min/m ³]	Velocidad media del vehículo [km/h]	Distancia a la planta b1 [km]	Distancia a la planta b2 [km]	Distancia a la planta b3 [km]	Distancia a la planta b4 [km]
b1	1	480	1,25	45	0	48	29	14
b2	1	700	0,85	50	48	0	24	35
b3	2	780	0,76	40	29	24	0	16
b4	2	1260	0,48	55	14	35	16	0

Los vehículos están repartidos entre las plantas y tienen una capacidad de transporte de 6 m³ por viaje. Se ha realizado la simulación de las cinco jornadas laborales con un conjunto de incidencias que se han introducido en el desarrollo de la distribución. Se muestra un resumen de la planificación de la distribución, realizada el día D-1 (Tabla 2), también se muestra el resumen de la distribución al final del día D, obtenida mediante la simulación del proceso con las incidencias (Tabla 3).

Tabla 2. Planificación de la distribución el día D-1 de les cinco jornadas laborales

		b1	b2	b3	b4
Lunes	Vehículos	10	12	12	15
	Clientes	14	24	6	28
	m ³	185	309,5	192	331,5
Martes	Vehículos	10	7	8	11
	Clientes	16	18	11	17
	m ³	231	241,5	230	229,5
Miercoles	Vehículos	12	10	7	10
	Clientes	16	18	7	18
	m ³	263,5	136,5	120	209,5
Jueves	Vehículos	15	11	8	10
	Clientes	23	25	6	17
	m ³	333,5	458,5	145	240
Viernes	Vehículos	10	10	7	13
	Clientes	25	20	7	24
	m ³	391	388,5	138	324,5

Tabla 3. Distribución al final del día de las cinco jornadas laborales

		b1	b2	b3	b4
Lunes	Vehículos	10	12	12	15
	Clientes	15	24	6	29
	m ³	206,5	309,5	174	328
Martes	Vehículos	10	7	8	11
	Clientes	9	18	11	19
	m ³	200,5	241,5	230	260
Miércoles	Vehículos	12	10	7	10
	Clientes	14	18	7	21
	m ³	207,5	136,5	120	265,5
Jueves	Vehículos	15	11	8	10
	Clientes	24	25	6	18
	m ³	341,5	432,5	145	258
Viernes	Vehículos	10	10	7	13
	Clientes	25	20	8	24
	m ³	393	388,5	144	316,5

Si se comparan las dos tablas anteriores (Tablas 2 y 3) se observa que ha habido una variación al final del día D respecto a la distribución prevista el día D-1 en el número de clientes servidos y en los m³ producidos por las plantas.

Los cambios de planta representan en general un aumento de kilómetros. Puede verse dicho aumento para cada una de las jornadas laborales simuladas (Tabla 4). Debe remarcarse que durante la replanificación del día D se prioriza el servicio al cliente aceptándose, por tanto, un aumento de kilometraje.

Tabla 4. Aumento de kilometraje para cada jornada

	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi
Δ de km	102	178	24	18	10

A continuación se muestra el detalle de cambios efectuados para resolver las incidencias en una de las jornadas laborales anteriores. La jornada laboral seleccionada es la del lunes, en la que se han producido cambios de planta de algunos pedidos, algunos de ellos en bloque, es decir el pedido completo, en otros solo algunos de los viajes asociados al pedido y retrasos en los pedidos.

Los cambios que se han producido, respecto a la distribución prevista el día D-1 se muestran a continuación (Tabla 5).

Tabla 5. Cambios realizados para la resolución de las incidencias

Planta	Clientes cambiados de planta	Retraso de entrega entre 0 y 5 minutos	Retraso de entrega entre 5 y 10 minutos	Retraso de entrega entre 10 y 15 minutos	Retraso de entrega más de 15 minutos	clientes sin cambio posible	Utilización cambio en bloque
b1	1	3	2	1	1		1
b2	0	10	2			1	1
b3	1	3	2				2
b4	2	9	4				7
Totales							
	4	25	10	1	1	1	11

Se observa que la mayoría de incidencias se han resuelto retrasando las entregas un margen no superior a los 5 minutos.

Todas las incidencias han sido resueltas mediante el uso de las herramientas diseñadas. En ningún caso ha sido necesario recurrir a la intervención directa del planificador para variar las condiciones establecidas previamente.

6. Conclusiones

Se ha diseñado e implementado diversos conjuntos de algoritmos de gestión y reprogramación de la distribución diaria, que permiten gestionar todos los elementos de dicha distribución. Los algoritmos de reprogramación diseñados en las herramientas específicas se muestran útiles para tomar la decisión más adecuada para resolver cualquier incidencia a lo largo del día en tiempo real. Para obtener buenas soluciones es imprescindible disponer de una base de datos coherente, fiable y actualizada.

La mayoría de incidencias están provocadas por una acumulación de pedidos que han sido aceptados y pactados con el cliente en intervalos horarios similares, sin considerar los tiempos de carga en planta. Esto puede paliarse con una buena herramienta de soporte al Call Center para negociar y aceptar los pedidos. Así pues surge la necesidad de realizar una nueva herramienta de soporte al Call Center que facilitará tanto la programación del día D-1 como la reprogramación a partir de las incidencias del día D. Esta nueva herramienta utilizará como punto de partida los algoritmos ya diseñados anteriormente. Los autores del presente trabajo han diseñado y validado algoritmos de soporte al Call Center.

Los algoritmos de resolución de incidencias se basan en el movimiento de los pedidos y de los vehículos. Si bien, el análisis de las incidencias y del funcionamiento de la distribución pone de manifiesto que independientemente del tipo de incidencia, después de producirse, hace falta realizar una reprogramación de la distribución de pedidos para adecuar todos los elementos a la nueva situación.

Debería disponerse de una base de datos de incidencias que permitiera un estudio detallado de ellas, con sus características específicas, de modo que se obtendrían recomendaciones en las

actuaciones a seguir al producirse una incidencia. Esto da pie a estudios futuros que pueden realizarse cuando esté disponible la base de datos de los históricos de incidencias.

Los algoritmos dan soluciones para resolver las incidencias siempre y cuando se pueda hacer respetando las restricciones, las premisas, las consideraciones y las características de los elementos que participan en la distribución. Si esto no es posible, para resolver la incidencia se debe que producir una intervención personal por parte del planificador.

Referencias

Asbach L., Dorndorf U., Pesh E. (2007). “Análisis, modeling and solution of the concrete delivery problem”. *European Journal of Operational Research*, doi:10.1016/j.ejor.2007.11.011

Chase, R.B.; Jacobs, F.R.; Aquilano, N.J. (2004). *Operations Management for Competitive Advantage*. 10th edition. McGraw-Hill.

Coves, A.M.; Santos, M.A.; Montori J., Pons, S. (2007). “Un caso de planificación integrada de la producción y la distribución de una empresa del sector de la construcción”. *Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro*. Zaragoza.

Heizer J. and Render B. (2006). *Operations Management*. 8th edition. Pearson education Inc. Prentice Hall.

Matsatsinis, N.F. (2004). “Towards a decision support system for the ready concrete distribution system: A case of a Greek company”. *European Journal of Operational Research*, 152:487-499.

Michalewicz, Z.; Fogel D.F. (2004). *How to Solve It: Modern Heuristics*. Springer, Alemania.

Miranda, F.J.; Rubio, S.; Chamorro, A.; Bañegil, T. (2005). *Manual de Dirección de operaciones*. Thomson, Madrid.

Naso, D.; Surico, M.; Turchiano, B.; Kaymak, U. (2007). “Genetic algorithms for supply-chain scheduling: A case study in the distribution of ready-mixed concrete”. *European Journal of Operational Research*, 177:2069-2099.