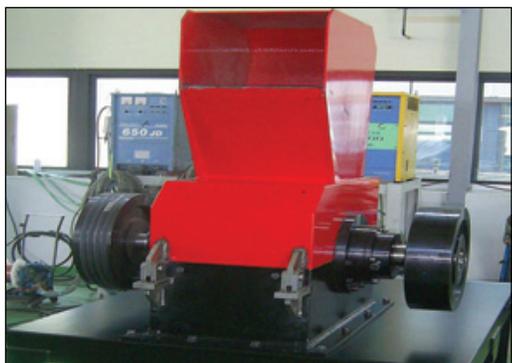


Optimización del punto de pedido: Solución realista a un problema extensamente estudiado, pero pobremente resuelto



Aitor Goti-Elordi *
Álvaro García-Sánchez**
Miguel Ortega-Mier**
Juraj Uradniecek ***

Dr. Ingeniero
Dr. Ingeniero
Dr. Ingeniero
Dr. Ingeniero

* Departamento de Mecánica y Producción Industrial, EPS de Mondragón, Loramendi, 4 – 20550 Arrasate. Tfno: + 34 943 794700. agoti@eps.mondragon.edu

** Dpto. de Ingeniería de Organización, Adm. de Empresas y Estadística, ETSII-UPM, Madrid (España). Tfno: + 34 913 363206. alvaro.garcia@upm.es, miguel.ortega.mier@upm.es

*** Institute of manufacturing systems, environmental technology and quality management, Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University of Technology, Námestie Slobody - 17 812 31 Bratislava 1 (Eslovaquia). Tfno: +421 257 296551. juraj.uradniecek@stuba.sk

Recibido: 21/06/2010 • Aceptado: 19/07/2010

Optimization of reordering points: Realistic solution to an extensively studied, but poorly solved problem

ABSTRACT

- The optimization of the reordering point of raw materials and maintenance spare parts is a problem extensively studied in the academic field, but poorly solved in the context of plant management. Most small or medium sized enterprises do not have tools to establish appropriate reordering policies. This paper focuses on the problem of the optimization of reordering points through the usage of Discrete Event Simulation software combined with Simulated Annealing. The program has been used to optimize the reordering points of a plastic manufacturing company obtaining satisfactory results.
- **Keywords:** reordering points, optimization, decision making, discrete event simulation.

RESUMEN

La optimización del punto de pedido o reposición de la materia prima y las piezas de repuesto de mantenimiento es un problema extensamente estudiado en el campo académico, pero apenas solucionado en el contexto de la gestión de la planta. La mayoría de las pequeñas y medianas empresas no tienen herramientas para establecer políticas de reposición apropiadas. Esta ponencia se centra en el problema de la optimización de los puntos de reposición a través del uso de un programa de Simulación de Eventos Discretos junto con un recocido simulado. El programa ha sido utilizado para optimizar los puntos de reposición de una empresa de fabricación de plásticos, obteniendo unos resultados satisfactorios.

Palabras clave: punto de pedido, optimización, toma de decisiones, simulación de eventos discretos.

1. INTRODUCCIÓN

La mejora de la eficacia y de la eficiencia de las operaciones de las empresas tiene reflejo en diversos aspectos, como, por ejemplo, en la gestión de los stocks. Una gestión inadecuada de los stocks se puede

traducir tanto en roturas de stock como en un nivel excesivo e innecesariamente elevado (Narasimhan, Swink, y Wook Kim 2006). En la gestión de stocks mediante punto de pedido, el tamaño de lote con el correspondiente al reaprovisionamiento y nivel de stock disponible por debajo del cual se lanza un nuevo pedido (punto de pedido) condicionan tanto el nivel medio de stock como la probabilidad de que se produzca una rotura de stock. En particular, un punto de pedido demasiado bajo puede conducir a que las roturas de stock sean frecuentes, y uno excesivamente elevado puede resultar innecesario y traducirse en costes elevados de almacenamiento.

A este respecto, varios autores (p.ej. Taskin Gumus y Fuat Guneri 2009) han estudiado el problema de determinar puntos de pedido óptimos. Sin embargo, el carácter teórico de los trabajos previos y las hipótesis demasiado restrictivas hacen que los modelos propuestos sean de difícil aplicación a sistemas reales. Los sistemas automatizados permiten reponer cualquier pieza de repuesto que esté por debajo de las cantidades mínimas de stock (Harkins, Middleton, y Mushin 1999; Weiss 1998), pero la clave aquí está en la definición de las políticas que dirijan estos instrumentos automatizados. Frente a esta carencia, lo

que aporta este trabajo es una forma de abordar el problema de gestión de stocks con hipótesis menos restrictivas y de mayor aplicación en diferentes tipos de empresas.

Las experiencias anteriores del equipo de investigación implicados en el proyecto han sido útiles para identificar situaciones anormales y susceptibles de mejora: por ejemplo, la empresa donde la herramienta ha sido implementada, *Tajo S. Coop.* (Tajo), dispone de seis plantas productivas en todo el mundo, pero no tenía definida ninguna política de reposición (elaborada con rigor cuantitativo) antes de que se pusiera en marcha este proyecto. Así, cada uno de los seis compradores de las seis plantas había adoptado una política diferente, de modo que había dos compradores moderadamente arriesgados, uno moderadamente conservador, dos arriesgados y uno muy conservador. Esta situación era demasiado gravosa como para ser admisible en términos del excesivo coste de almacenaje y los costes de rotura anteriormente citados, por lo que fue presentada la iniciativa del proyecto.

Habiendo comprobado que este problema es relativamente común entre las empresas con las que trabaja el equipo de investigación, estos trabajos señalan como resultado el diseño, desarrollo y puesta en práctica de una herramienta que permite obtener los puntos de pedido de menor coste global, (costes de lanzamiento de pedido, almacenaje y rotura de stock). Específicamente, la herramienta permite obtener el punto de pedido mediante la combinación de la Simulación de Eventos Discretos (*Discrete Event Simulation*, DES) y el recocido simulado. La herramienta ha sido implementada con éxito en Tajo, fabricante de componentes de plástico que sirve productos al sector auxiliar de la automoción y al sector de electrodomésticos.

2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

El problema de gestión de stocks mediante punto de pedido consiste en lo siguiente: una empresa debe servir un artículo determinado a uno o varios clientes. La demanda de dichos clientes puede no ser determinista y, generalmente, no lo es. En cualquier caso, sí se admite que es posible obtener algún tipo de caracterización del comportamiento de la demanda a partir del análisis de los datos históricos disponibles. Típicamente, como resultado de dicho análisis, se puede admitir que la demanda por unidad de tiempo del artículo en cuestión sigue una determinada variable aleatoria.

A su vez la empresa, para poder servir a sus clientes, realiza pedidos a un proveedor que tiene un determinado plazo de entrega y unos costes

asociados a la emisión de cada pedido. Igualmente, el plazo de reaprovisionamiento del proveedor puede no ser determinista y se puede caracterizar mediante alguna variable aleatoria.

En definitiva, la empresa atiende la demanda de un determinado artículo de un conjunto de clientes y, para ello, un proveedor le abastece de artículos, para lo cual emite pedidos a lo largo del tiempo.

Para evaluar el interés de la gestión que se hace del sistema, existen tres costes:

- Los *costes de almacenamiento*. Para un horizonte determinado el coste de almacenamiento se calcula como el producto del nivel de stock para cada uno de los días por el coste de almacenamiento unitario (€/artículo y día).
- Los *costes de emisión*. Cada vez que se lanza un pedido existe un coste asociado (administración, tasas, aduanas, etc.). Para el horizonte considerado el coste total de los pedidos emitidos es igual al coste unitario de emisión por el número de pedidos emitidos.
- Los *costes de rotura de stock*. Por el carácter típicamente no determinista del tipo de problema, existe la posibilidad de que cuando un cliente solicita un artículo, este no está disponible en la cantidad deseada. En ese caso, existe una penalización asociada. Los costes de rotura de stock para el horizonte de tiempo considerado se calculan como el producto del número total de artículos no servidos a tiempo y la penalización unitaria por artículo no servido.

Para atender la demanda de los clientes, la empresa dispone de un almacén con un determinado nivel de stock, este es el stock físico. Adicionalmente, desde que se lanza el pedido hasta que, efectivamente, llega físicamente al almacén, hay un número de artículos en tránsito. La suma del stock físico más el número de artículos correspondientes a ordenes de reposición lanzadas, y que está pendiente de llegar al almacén, es lo que se denomina stock disponible. El concepto de stock disponible es esencial para caracterizar la gestión de stocks mediante punto de pedido.

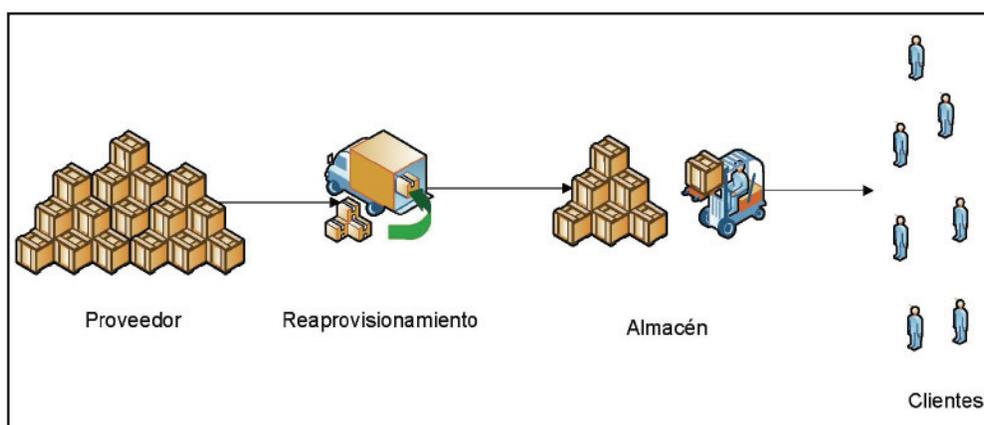


Fig. 1: Esquema del problema

Las variables de decisión de los que dispone la empresa son las siguientes:

- El tamaño del lote Q , es decir, el número de artículos que se demandan cuando se emite un pedido. Se

admite que este tamaño no cambia a lo largo del tiempo.

- El punto de pedido o reposición (*reordering point*, RP), que es el valor que debe alcanzar el nivel

MODELO DEL PROBLEMA EN SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

El problema de optimización estudiado aquí considera varias variables de entrada, variables constantes, suposiciones y objetivos de salida, cuyo contexto total es descrito en la Fig. 1 y descrito debajo.

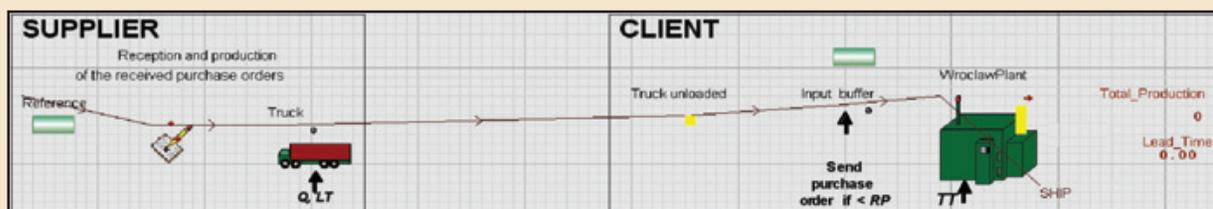


Fig. 1: Descripción gráfica del problema a resolver

El problema se trata de las dos siguientes variables de entrada:

- El producto viene en lotes de tamaño Q .
- El punto de pedido o reposición (*reordering point*, RP).

En cuanto a los valores constantes y los supuestos para la modelización, se supone lo siguiente:

- El tiempo de espera logístico (*lead-time*, LT), que es el tiempo que transcurre desde que se da la orden de compra hasta la llegada de los productos ligados a esa orden, es variable pero conocido (los datos históricos están disponibles, de modo que habrá una información que coincida con una concreta distribución).
- El ritmo del cliente (*tack-time* TT), que es la velocidad en la que el cliente consume los productos almacenados, es variable pero conocido (los datos históricos están disponibles, de modo que habrá una información que coincida con una concreta distribución).
- El almacén que contenga los productos entrantes tiene una capacidad infinita.
- Cada lote de productos comprados conjuntamente tiene un coste fijo de orden de compra (C_r).
- Cada unidad de producto tiene un coste fijo por el tiempo que esté en el almacén (C_s).
- Cada vez que un cliente necesite coger un producto del almacén y no haya ninguno, será asignado un coste fijo de rotura (C).

Finalmente, los resultados para ser optimizados pueden considerar la optimización conjunta de los siguientes costes:

- La minimización del coste total de las órdenes de compra (C_{rt}).
- La minimización del coste total de los elementos almacenados en el almacén (C_{st}).
- La minimización del coste total de no servir al cliente debido a que el almacén esté vacío (C_{et}).

Cada uno de estos costes será calculado multiplicando el número de veces que ocurre cada tipo de coste anteriormente citado por su correspondiente concepto de coste. Así, siendo n_e y n_r el número de órdenes de compra lanzadas y el número productos no servidos en el periodo estudiado respectivamente, C_{rt} y C_{et} son calculados como se muestra a continuación:

$$C_{rt} = n_r \cdot C_r \tag{1}$$

$$C_{et} = n_e \cdot C_e \tag{2}$$

Mientras, para el cálculo de C_{st} se tienen en cuenta el coste C_s y el periodo de tiempo en el que cada uno de los m productos se encuentra depositado en el almacén (t_i), como se muestra en la Ec. (3):

$$C_{st} = C_s \cdot \sum_{i=1}^m t_i s_i \tag{3}$$

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

La optimización de las variables Q y RP mediante el criterio que fijan C_{rt} , C_{st} y C_{et} puede ser formulado como un Problema de Optimización de un Solo objetivo (Single-objective Optimization Problem, SOP) o como un Problema de Optimización Multi-Objetivo (Multi-objective Optimization Problem, MOP). Un SOP podría ser planteado sumando todos los costes de compra, almacenaje y rotura, mientras un MOP sería formulado para optimizar un vector de funciones de forma (Martorell et al. 2004):

$$f = (f_1, f_2, \dots, f_n) \quad (4)$$

donde f representa la función objetivo la cual depende de las variables de decisión, Q y RP . La optimización propuesta en esta ponencia considera los costes totales detallados en la Ec. (5) como un problema SOP:

$$f(Q, RP) = C_{st} + C_{et} + C_{rt} \quad (5)$$

Además, y aunque la aplicación de software está preparada para tratar con diferentes valores de Q , los casos de la aplicación probados con la colaboración de *Tajo* consideran como variable de decisión sólo la RP , de modo que para el caso mostrado en la Ec. (5) se modifica de la siguiente forma:

$$f(RP) = C_{st} + C_{et} + C_{rt} \quad (6)$$

del stock disponible para lanzar un nuevo pedido. Cuando se lanza un pedido, el stock disponible aumenta en Q y no se realizará un nuevo pedido hasta que dicho stock no vuelva a alcanzar el valor RP .

El cálculo de los valores óptimos para situaciones deterministas (demanda y plazo de aprovisionamiento deterministas) es sencillo. Al no existir ninguna incertidumbre es posible identificar de forma exacta en qué momento se debe realizar un nuevo pedido sin que exista rotura de stock y con un nivel de stock mínimo. Sin embargo, cuando el contexto no es determinista el cálculo de estos valores no es tan sencillo. Es en este contexto en el que resultan de utilidad tanto el modelo de simulación como la técnica metaheurística de búsqueda de buenas soluciones o, incluso, la óptima con respecto al criterio del coste.

3. MODELO DE SIMULACIÓN. RECOCIDO SIMULADO

3.1. MODELO DE SIMULACIÓN

La simulación de eventos discretos es una técnica donde el sistema estudiado se modela y describe mediante un conjunto de variables que representan el estado de los elementos del sistema y cuyos valores cambian de forma discreta a lo largo del tiempo.

Estos cambios vienen originados por la ocurrencia de eventos que, a su vez, darán lugar a nuevos eventos

en el futuro. La representación del sistema (las variables consideradas) no cambian entre diferentes eventos, de manera que el sistema se considera bien descrito con el conjunto de variables obtenidos tras cada uno de los eventos.

Por ejemplo, cuando el estado del modelo es tal que el stock disponible desciende por debajo del punto de pedido da lugar a un evento que es 'lanzamiento de un nuevo pedido'. Cuando esto ocurre, el nivel de stock disponible aumenta en Q y se genera un nuevo evento que será 'llegada del nuevo pedido al almacén', de manera que un determinado tiempo después el nivel de stock físico aumentará en Q , cuando se ejecute dicho evento.

Las principales ventajas del DES son dos (Goti, Oyarbide-Zubillaga, y Sánchez 2007; Oyarbide-Zubillaga, Goti, y Sánchez 2008): i) Las herramientas basadas en el DES estándar proporcionan capacidades de modelización o modificación de modelizaciones de sistemas complejos fácilmente, y ii) DES está estrechamente relacionado con sistemas estocásticos apropiados para simular fenómenos reales, ya que existen pocas situaciones donde las acciones de las entidades que se encuentran dentro del sistema bajo estudio pueden ser completamente previstos por adelantado. Para generar eventos estocásticos, los paquetes de simulación generan números pseudo-aleatorios para seleccionar un valor particular para cada distribución dada. Así, en modelos DES, utilizando números pseudo-aleatorios es posible implementar la naturaleza estocástica de modelos reales. Por eso, DES ha sido utilizado como técnica de modelización para la

herramienta de modelización a desarrollar. El mecanismo de funcionamiento del DES, extraído de la Ref. (Harrell, Ghosh, y Bowden 2000) se muestra en la Fig. 2:

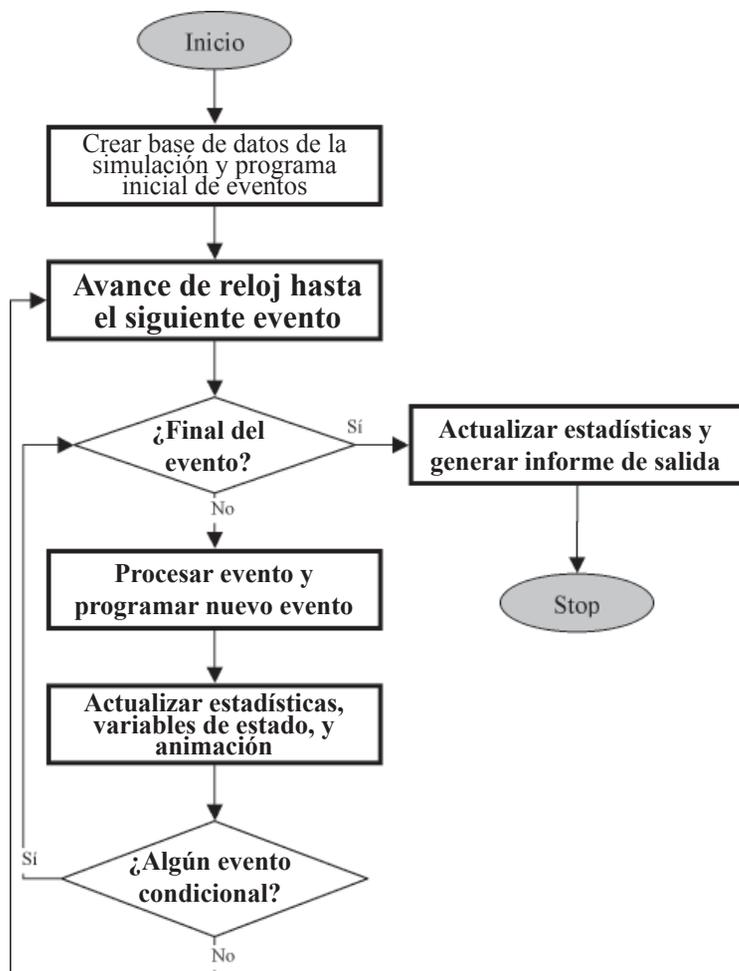


Fig. 2: Diagrama del proceso de Discrete Event Simulation (Harrell et al., 2000)

El modelo fue desarrollado haciendo uso de una versión limitada del software de simulación *Witness* (Lanner 2008). Esta herramienta puso de manifiesto la potencia del método para abordar este problema. Los responsables en *Tajo* valoraron positivamente la herramienta, de manera que la extensión del modelo a más referencias y la generalización del mismo es potencialmente viable, haciendo uso de la versión completa del mismo software.

Los elementos fundamentales del modelo de simulación y su comportamiento son los siguientes:

- *Entidades Artículo y Artículo_no_servido*. Estas entidades representan, respectivamente, los artículos que se sirven a los clientes y las entidades que no se llegan a servir. Crear esta actividad ficticia permite contabilizar todas las unidades que no se han servido.
- *Buffer Almacen*. Contienen las entidades Artículo desde las cuales se atiende la demanda de los clientes.

- *Variable Demanda*. Es una variable aleatoria que se actualiza cada día simulado y que corresponde a la demanda agregada de todos los clientes de la empresa.
- *Actividad Cliente*. Es la actividad cuya duración es un día. Cada día se retira una cantidad de entidades de tipo Artículo igual al valor de la demanda. Si la cantidad de artículos que contiene el almacén es menor que el valor de la demanda, se generan entidades de tipo Artículo_no_servido por valor de la diferencia, para poder computar el número de unidades no servidas.
- *Cola Proveedor*. Esta cola almacena todas las entidades de tipo Artículo desde el momento en el que se lanza la orden de reposición hasta que llegan al almacén de la empresa. El tiempo que permanecen las entidades de cada pedido son diferentes de un pedido a otro.
- *Actividad Reponer*. Esta actividad desencadena el proceso de reposición. Cuando el número de entidades que hay en Almacén, más las que están en la cola Proveedor, cae por debajo del valor de punto de pedido se lanza un pedido por la cantidad establecida y se envía a la cola Proveedor, desde donde llegarán al almacén de la empresa.
- *Variables Coste_stock, Coste_emision y Coste_rotura*, que registran los costes de la alternativa evaluada.

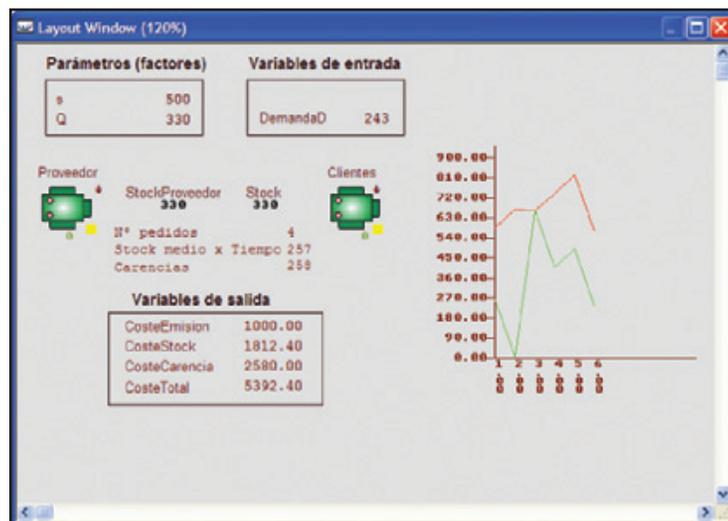


Fig. 3: Representación gráfica del modelo en Witness

La Figura 3 ofrece una imagen de la representación gráfica del modelo construido.

3.2. RECOCIDO SIMULADO

Dependiendo de la complejidad y las características del problema de optimización, se pueden utilizar diferentes técnicas: por ejemplo, si el problema es afrontado como un MOP, se puede usar un Algoritmo Evolutivo Multi-Objetivo

(*Multi-Objective Evolutionary Algorithm*, MOEA), como el *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm* NSGA-II de Deb et al. (2002). En el caso de que se presente un SOP, será suficiente con utilizar algoritmos de optimización de un solo objetivo para resolver el problema.

Una de las técnicas metaheurísticas que exige un menor esfuerzo de implementación es el recocido simulado. Esa es la razón por la que se optó por esta técnica. Una vez desarrollada y analizado su comportamiento resultó eficaz y eficiente para los objetivos perseguidos.

El *recocido simulado* es una técnica metaheurística que trata de huir de óptimos locales permitiendo transitar por soluciones peores de la considerada en cada momento, con una determinada probabilidad. En particular, la probabilidad de aceptar con nueva solución en el proceso de búsqueda es tanto menor como mayor sea el empeoramiento. Adicionalmente, existe un parámetro, llamado temperatura, que desciende a medida que avanza el proceso (patrón de enfriamiento), de manera que a medida que la temperatura es menor, la probabilidad de aceptar soluciones peores disminuye igualmente.

La lógica del recocido simulado es la siguiente: durante las primeras iteraciones, se permite que la solución empeore y mucho, de manera que el proceso de búsqueda pueda explorar diferentes regiones del espacio de soluciones. A medida que el proceso avanza la búsqueda se centra en menos regiones y se exploran con mayor intensidad.

Las características de este recocido simulado son las siguientes:

- El patrón de enfriamiento del tipo $T_{i+1} = T_i \times f$. Es decir la temperatura se actualiza multiplicando por un factor, cuyo valor esté entre 0 y 1.
- A cada temperatura, a partir de una solución se generan cuatro posibles nuevas soluciones. Cada una de ellas se obtiene aumentando o disminuyendo en una determinada cantidad el valor de Q y de RP.
- Cada vez que se selecciona una nueva solución, las cantidades en las que se incrementa y disminuyen los valores de Q y RP de la siguiente iteración se actualizan. Aumentan o disminuyen según la nueva solución empeore o mejore, respectivamente. El aumento o disminución es proporcional al incremento relativo de la función objetivo (el coste) de la nueva solución con respecto a la inmediatamente anterior.

4. CASO DE APLICACIÓN

Como ya se ha mencionado anteriormente, el paquete de la simulación y el recocido simulado fue aplicado para establecer los puntos de pedido de diferentes referencias de *Tajo*. *Tajo* forma parte del *Grupo Mondragón* (conocido hasta el pasado año como *Mondragón Corporación Cooperativa*, la séptima corporación más grande de España). *Tajo* produce y suministra subensamblajes y componentes de

plástico desde 1963 para el sector auxiliar de automoción y el sector de electrodomésticos, constando de seis plantas de fabricación, tres en España, dos en Polonia y uno en la República Checa.

Hay varios elementos de especial interés para optimizar, ya que son subproductos suministrados a las seis plantas por distribuidores españoles. Además, estas referencias no son almacenadas en el almacén del distribuidor, y el valor total de *LT* puede rondar los 21 días. Esto significa que, para estos casos, el punto de reposición debe considerar no sólo la cantidad de elementos que se encuentran en el almacén de la planta del cliente (la ubicación del almacenaje al principio de la planta del cliente de Polonia o de la República Checa), sino que también los elementos ya pedidos que aún no hayan llegado a la planta del cliente.

Los datos mostrados en las Tablas 1 y 2 reflejan los datos económicos y logísticos del problema, respectivamente:

Parámetro	Unidad	Distribución
LT	días	Uniforme entre 21 y 22
TT	artículos/hora	Uniforme entre 0,38 y 0,4

Tabla 1: Datos económicos del caso de optimización

Parámetro	Unidad	Valor
Coste de emisión	\$/orden	9,52
Coste de almacenamiento	\$/producto.mes	236,34
Coste de rotura de stock	\$/unidad (no servido a tiempo)	34,00

Tabla 2: Datos logísticos del caso de optimización

Finalmente, para describir este caso de aplicación, conviene señalar que la planta trabaja a tres turnos, se estimó un tiempo de calentamiento del sistema de cinco días y la longitud de cada una de las repeticiones fue de 229 días, calculados teniendo en cuenta las sugerencias proporcionadas por la teoría de la simulación, recopilados en Goti (2007). Los valores del punto de pedido y de tamaño de lote pueden tomar cualquier valor entero y positivo.

Con respecto al recocido simulado, se fijaron como temperaturas inicial y final 1000 y 20 respectivamente con un factor multiplicativo para obtener nuevas temperaturas igual a 0.95. Para obtener vecinos, los valores de Q y RP se modificaron inicialmente sumando y restando 10 a dichos valores.

La Figura 4 muestra el resultado de la evolución del coste a lo largo del proceso de aplicación del recocido simulado para un ejemplo concreto.

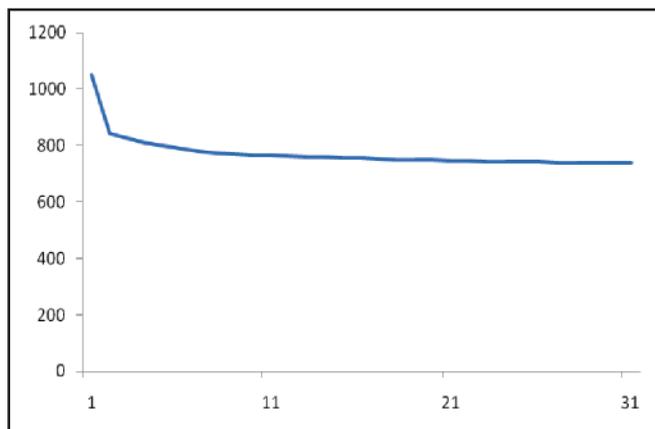


Fig. 4: Resultados de la optimización

La consolidación de los datos obtenidos ha sido exitoso, y, como consecuencia, varias plantas dentro del Grupo Mondragón están probando la iniciativa para optimizar las materias primas de producción y las piezas de recambio de mantenimiento, pero considerando tanto el valor de RP como de Q .

5. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por los siguientes programas de financiación:

DEMAGILE TOOLS: Desarrollo de herramientas de toma de decisiones para la implementación de principios relacionados con la 'producción Leagile'. Proyecto financiado por el Gobierno Vasco (Proyecto de Investigación Básica y Aplicada, código PI2009-24).

SERVISTOCK: Desarrollo de una herramienta para la optimización conjunta de los niveles logísticos de stock de seguridad y tipos de transporte (European transnational project MANUNET-2008-BC-001).

AVAILAFACTURING: Desarrollo de una herramienta para la gestión de la red del Servicio de Asistencia Técnica para la optimización de la fabricación de productos y servicios (European transnational project MANUNET-2009).

6. BIBLIOGRAFÍA

- Deb K, Pratap A, Agarwal S Et Meyarivan T. 2002, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 6, no. 2, pp. 182-197.
- Goti-Elordi A. 2007, Optimization of preventive maintenance policies in productive systems using genetic algorithms, PhD, Universidad Politécnica de Valencia.
- Goti-Elordi A. Oyarbide-Zubillaga A Et Sánchez A. 2007, "Optimizing preventive maintenance by combining discrete event simulation and genetic algorithms", Hydrocarbon Processing, vol. 86, no. 10, pp. 115-122.
- Harkins BL, Middleton ES, Et Mushin DA. 1999, "Linking the plant floor to the enterprise: benefits and pitfalls", Hydrocarbon Processing, vol. 78, no. 6, pp. 49-54.
- Harrell C, Ghosh BK Et Bowden R. 2000, Simulation using ProModel McGraw Hill, New York, USA.
- Lanner. Witness [CD-ROM], ver. 2008, [Programa informático]. Distribuidor disponible: Lanner Group Limited, The Oaks, Clews road, Redditch, Worcestershire, B98 7ST, UK. 2008.
- Martorell S, Sánchez A, Carlos S Et Serradell V. 2004, "Alternatives and challenges in optimizing industrial safety using genetic algorithms", Reliability Engineering and System Safety, vol. 86, no. 1, pp. 25-38.
- Narasimhan R, Swink M Et Wook Kim S. 2006, "Disentangling leanness and agility: An empirical investigation", Journal of Operations Management.
- Oyarbide-Zubillaga A. 2003, Manufacturing systems simulation using the principles of System Dynamics, PhD thesis, Cranfield University.
- Oyarbide-Zubillaga A, Goti-Elordi Et Sánchez A. 2008, "Preventive maintenance optimization of multi-equipment manufacturing systems by combining discrete event simulation and multiobjective evolutionary algorithms", Production Planning Et Control, vol. 19, no. 4, Special Issue on Maintenance and Facility Management, pp. 342-355.
- Taskin Gumus A Et Fuat Guneri A. 2009, "A multi-echelon inventory management framework for stochastic and fuzzy supply chains", Expert Systems with Applications, vol. 36, no. 3(1), pp. 5565-5575.
- The Mathworks. Matlab [CD-ROM], ver. R2008, [Programa informático]. Distribuidor disponible: The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098, USA. 2008. 2006.
- Weiss WH. 1998, "Make computerized maintenance management systems pay off", Hydrocarbon Processing, vol. 77, no. 7, pp. 129-135.