

Extensión de los sistemas a medida a la coordinación de la cadena de suministro*

Pedro L. González Rodríguez¹, José M. Framiñán Torres¹, Rafael Ruiz Usano¹

¹ Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas. Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Camino de los descubrimientos, s/n, 41092 Sevilla. pedroluis@esi.us.es, jose@esi.us.es, usano@esi.us.es.

Resumen

En los últimos años, las empresas parecen ser más conscientes de que la eficiencia de sus propios negocios es fuertemente dependiente de la colaboración y coordinación con sus proveedores y clientes. Los investigadores se han centrado en diferentes e importantes aspectos con el objetote definir políticas adecuadas en la Gestión de la Cadena de Suministro. Uno de los aspectos que todavía no se ha estudiado en profundidad es el control a corto plazo de la cadena de suministro. En este trabajo proponemos un mecanismo de coordinación básico para el control del flujo de materiales en la cadena de suministro dentro del período de planificación a corto plazo. Este mecanismo de control es un sistema basado en la filosofía JIT, el cual emplea tarjetas kanban para coordinar el flujo de materiales a través de la cadena de suministro. Se propone un método de optimización para establecer los parámetros que afectan al mecanismo propuesto. Finalmente, se ha realizado un experimento para estudiar con el objeto de estudiar tanto el mecanismo de coordinación propuesto como el método de optimización.

Palabras clave: Cadena de suministro, sistemas de coordinación, JIT supply chain

1. Introducción

Las empresas modernas operan en un entorno altamente cambiante, con una competencia aún más global, en el que características como la impredecibilidad de los mercados y la descentralización de las plantas productivas juegan en contra del objetivo de las empresas de proveer productos sobresalientes con un servicio al cliente de alta calidad. Dichos factores empujan a las empresas a buscar nuevas formas de colaboración con otros miembros que intervienen de alguna manera en su negocio (Terzi y Cavalieri, 2004).

En los últimos años, las empresas (grandes y PYME's) parecen ser más conscientes de que la eficiencia de sus propios negocios es fuertemente dependiente de la colaboración y coordinación con sus proveedores y clientes. Esta nueva perspectiva, más amplia y no basada sólo en el proceso productivo, se conoce en la literatura como la gestión de la cadena de suministro, SCM (Supply Chain Management), la cual se fundamenta en el enfoque estratégico de tratar con una planificación y operación logística entre empresas de una manera integrada (Lau y Lee, 2000 y Christopher, 1998).

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación con financiación procedente del Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto DPI2004-02902) y con cofinanciación proveniente del Fondo europeo de desarrollo regional (FEDER).

La gestión de los flujos de material desde los proveedores hasta el cliente final implica actividades de diseño, planificación y control en la cadena de suministro (ver por ejemplo Ganesham, 1999). La gestión eficiente de estas actividades ofrece una amplia gama de oportunidades en términos de reducción de costes y tiempo de ciclo (Persson y Olhager, 2002).

2. El flujo de materiales en la cadena de suministro

Los APS se responsabilizan de las tareas de planificación y programación propias de las cadenas de suministro. Uno de los aspectos relevantes que todavía no ha sido abordado por los APS es el enlace del control de la producción con la propia planta. Hasta ahora la programación detallada recibe los datos de entrada del sistema ERP, el cual no es capaz de controlar en tiempo real las operaciones de producción (Stadtler, 2005).

Las nuevas tendencias en la gestión de la cadena de suministro, indican que la re-optimización de los planes debería hacerse siempre que ocurra un flujo de información importante y no de manera periódica (Stadtler, 2005). En este contexto parece lógico que la aplicación de la filosofía justo a tiempo JIT (Just In Time), pueda aportar numerosos beneficios en la planificación a corto plazo dentro de las cadenas de suministro. Es posible considerar que las técnicas JIT de reducción del tiempo total de ciclo, disminución de los tiempos de set-up, reducción del tamaño de los lotes o distribución de productos, son aplicables a la cadena de suministro (Olhager, 2002). La aplicación de la filosofía JIT a la cadena de suministro ha sido hasta ahora muy tímida, siendo muy pocas las referencias al respecto, destacando entre ellas los trabajos de Hopp 2004, Olhager 2002, Liberopoulos y Koukoumialos 2005, Wang y Sarker 2005 y Rubiano y Crespo 2003.

Adicionalmente hay que tener en cuenta que, los sistemas a medida basados en tarjetas (“customized pull systems”) son una alternativa actual y real a los sistemas productivos JIT como el Kanban o el Conwip y que por tanto, al igual que estos, podría ser posible extender el concepto de sistemas a medida a la coordinación de la cadena de suministro (ver Gaury 2000, Gaury *et al.* 2000, Gaury *et al.* 2001 o González 2006). El mecanismo de coordinación propuesto en este trabajo se basa en el flujo de tarjetas Kanban a través de la línea, de la misma manera que en un sistema pull en el contexto de control de la producción. En la Figura 1 se muestra una cadena de suministro lineal (SC), en la que existen los procesos de aprovisionamiento, producción, distribución y ventas. En línea continua de tipo sólido se representa el flujo de los trabajos, mientras que en línea discontinua se muestra el flujo de información entre los distintos procesos de la cadena de suministro.

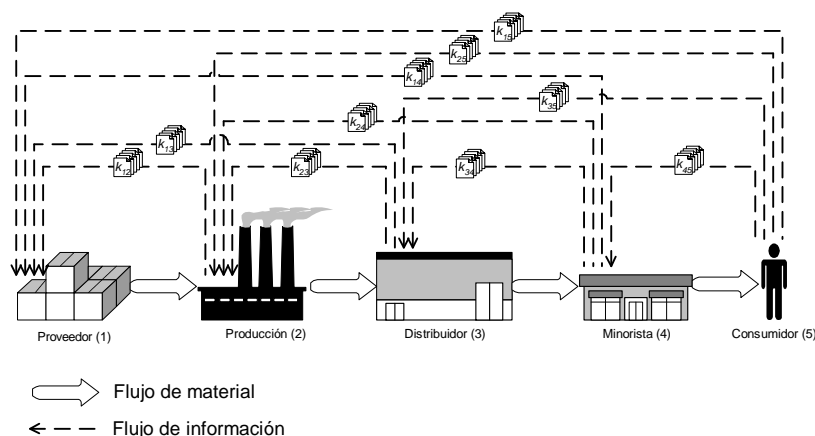


Figura 1. Sistema de coordinación de la SC propuesto

Suponiendo que trabajamos en un entorno contra stock, el funcionamiento básico es el siguiente: una vez que llega el cliente al almacén de productos terminados y toma una cierta cantidad de productos, el sistema libera una tarjeta por cada producto/trabajo el cual se envía a los correspondientes paneles de control de los procesos de la cadena de suministro. Cada proceso tendrá en cuenta la existencia de tarjetas en los paneles de control asociados a cada proceso, el cual le indicará el momento en el que comenzar su proceso. Como podemos ver en la Figura 1, el inventario máximo del proceso de producción queda limitado al valor del número de tarjetas que asociemos al bucle existente entre dicho almacén y el proceso de aprovisionamiento. Por tanto, nuestra principal tarea en el proceso de optimización consiste en el correcto establecimiento del número de tarjetas para cada bucle. Este aspecto será discutido en detalle en la siguiente sección.

Esta interpretación sobre la coordinación de los nodos en la cadena de suministro iría enmarcada dentro de la planificación a corto plazo de la cadena de suministro, es decir, cada nodo tratarían de ejecutar la programación detallada proveniente del sistema ERP, que a su vez interactúa con el sistema APS (ver por ejemplo Stadtler 2005).

Como se ha expuesto previamente, los sistemas a medida basados en tarjetas constituyen un método eficiente para el control de la producción. Creemos que la integración de los sistemas a medida junto a una cadena de suministro coordinada por tarjetas, obtendrá mejores resultados que la implementación de cualquier otro sistema de control.

3. Optimización

Para explicar el método de optimización, partimos del caso de una cadena de suministro en línea formada por los procesos de aprovisionamiento, producción, distribución y ventas (según Figura 1), así como las tareas de transporte asociadas entre los distintos procesos. Por otra parte hay que tener en cuenta que cada proceso dispondrá a su vez de un sistema de control de la producción propio. Evidentemente son necesarios los datos de los procesos con suficiente nivel de detalle para poder modelar la cadena de suministro.

Hay que tener en cuenta que el funcionamiento de cada proceso afecta al propio funcionamiento del flujo de información de la cadena de suministro, por lo que la optimización individual de la cadena de suministro por una parte y de los procesos por otra, de manera independiente, carece de sentido.

Otra manera de abordar el problema sería intentar optimizar tanto el mecanismo de coordinación de la cadena de suministro como el mecanismo de control de los procesos de manera simultánea. Sin embargo el problema parece intratable a medida que aumentan el número de nodos y también depende en gran parte de la dificultad en la optimización de los procesos que intervienen en la cadena, por lo que se descarta esta posibilidad.

Hopp 2004 indica que el proceso de optimización de la cadena de suministro realizado secuencialmente desde el proceso de ventas hasta llegar al proceso de aprovisionamiento obtiene resultados subóptimos. El mencionado proceso parte del nivel de servicio requerido en el cliente. El objetivo del proceso de ventas será alcanzar dicho nivel de servicio con el menor inventario en proceso. La tasa de producción del proceso de ventas será tomada por el proceso de distribución como objetivo, con el menor inventario en proceso posible. La tasa de producción de dicho proceso será tomada a su vez por el proceso productivo y la tasa de este,

a su vez, como objetivo en el proceso de aprovisionamiento, intentando para ello minimizar el inventario en proceso de cada miembro de la cadena.

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso secuencial de optimización lleva a resultados subóptimos. Sin embargo, como se explicará posteriormente, vamos a hacer uso de un proceso secuencial e iterativo para optimizar el mecanismo de coordinación propuesto. Para explicar dicho algoritmo vamos a introducir el problema teniendo en cuenta las variables asociadas a los nodos (procesos) de la cadena de suministro coordinada por un sistema a medida basado en tarjetas, como el mostrado en la Figura 1. Para dicho sistema el objetivo es determinar el conjunto de valores $(k_{11}, k_{22}, \dots, k_{1n})$, de manera que se alcance un determinado nivel de servicio objetivo, TSL , con el menor inventario en proceso posible.

En una cierta cadena de suministro formada por n nodos en serie, la tasa de salida, TH_i , (nivel de servicio en su caso) del proceso P_i , dependerá de los parámetros de control del proceso, (x_1, x_2, \dots, x_m) , y de la tasa de entrada de los trabajos en dicho proceso, r_e (ver Figura 2).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que dicha tasa de entrada depende a su vez del funcionamiento del propio sistema y del funcionamiento del resto de nodos de la cadena de suministro, por lo que $r_e = f(TH_j) \forall j \neq i \mid 0 \leq j \leq n$. Adicionalmente la respuesta de cada nodo depende a su vez del funcionamiento del resto de los nodos, por lo que $TH_i = f(x_1, x_2, \dots, x_m, TH_j) \forall j \neq i \mid 0 \leq j \leq n$.

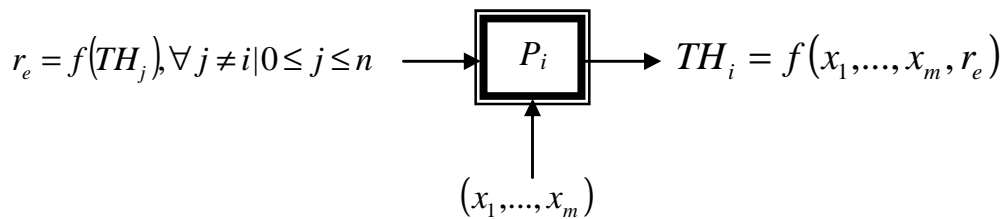


Figura 2. Representación de las variables de un nodo de la cadena de suministro

Sin embargo si consideramos dos sistemas idénticos con distinta tasa de entrada, se puede observar que entre el inventario en proceso y la tasa de salida / nivel de servicio de ambos se conserva una relación similar independientemente de la mencionada tasa de entrada en el sistema. La relación es que ambas curvas se pueden considerar paralelas en un determinado rango. En la Figura 3 se representa el inventario en proceso, WIP , frente a la tasa de salida, TH , de un proceso genérico para el caso de dos tasas de entrada de materiales en la línea distintas, r_1 y r_2 , en el que $r_1 > r_2$. Como puede observarse ambas curvas, en un determinado rango, son prácticamente paralelas. Aprovecharemos dicha característica para optimizar el sistema. La principal idea es estimar la tasa de entrada, r_1 , para cada nodo una vez que se optimiza el mecanismo de coordinación de la cadena de suministro. Posteriormente se optimiza cada nodo de manera independiente y se determina la tasa de entrada r_2 para cada nodo, la cual deberá converger hacia el parámetro inicialmente calculado r_1 .

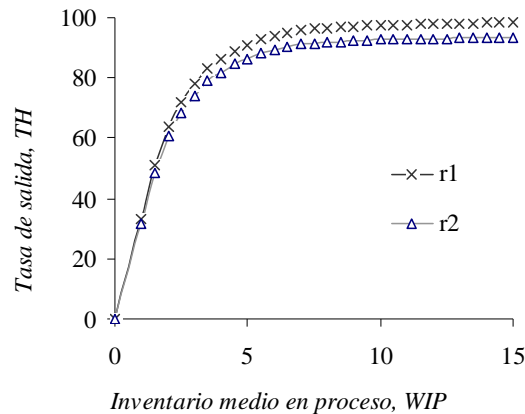


Figura 3. Tasas de salida de dos procesos idénticos con diferentes tasas de entrada

La metodología propuesta contiene tres fases diferentes:

Fase 1: Optimización del sistema de coordinación de la cadena de suministro y estimación de la respuesta en cada nodo.

Fase 2: Optimización de cada nodo individualmente, teniendo en cuenta la salida calculada del nodo anterior como tasa de entrada en el siguiente nodo.

Fase 3: Integración de las soluciones obtenidas en las fases 1 y 2. Chequear la convergencia.

Dicha metodología se desarrolla según los siguientes pasos:

0. Inicialización.

Establecer el contador de iteraciones a cero, $t = 0$.

1. Optimizar sistema de coordinación de la cadena de suministro.

No considerar ningún tipo de sistema de control de la producción dentro de cada nodo.

Optimizar los parámetros de control de la cadena de suministro, $C = (k_{11}, k_{22}, \dots, k_{1n})$.

Si $t = 0$:

Determinar las tasas de salida de cada nodo, TH_{oi} , las cuales emplearemos como objetivo individual en el siguiente paso. Establecer el valor estimado, TH_{ei} , para la tasa de salida en cada nodo, $TH_{ei} = TH_{oi}$.

2. Optimización de los procesos individuales.

Para cada nodo i de la cadena de suministro:

Optimizar el proceso aislado teniendo en cuenta una disponibilidad infinita de trabajos a la entrada, con el objetivo de alcanzar la tasa de salida estimada objetivo, TH_{ei} .

Almacenar la solución obtenida, S'_i .

3. Integración de las soluciones.

Establecer en el modelo todos los parámetros obtenidos en los pasos 1 y 2, para cada sistema individual, S'_i y la solución obtenida para el control de la cadena de suministro C .

Medir el nivel de servicio, SL y las tasas de salida para cada nodo $TH_i(t)$.

Si $SL < TSL$:

Actualizar parámetros $TH_{ei}(t+1) = TH_{ei}(t) + TH_i(t) - TH_{oi}$

$t \rightarrow t+1$.

Ir a paso 1.
En otro caso: FIN.

La anterior metodología hace uso de la idea mostrada en la Figura 3, pero en el algoritmo se usa como referencia la tasa de entrada teniendo en cuenta una disponibilidad infinita de material.

En el Paso 1, optimizamos el mecanismo de coordinación de la cadena de suministro, sin tener en cuenta ningún tipo de control de la producción en los procesos individuales. Esto nos mostrará las tasas de salida deseables para cada nodo, al explotar los cuellos de botella. En la primera iteración, $t = 0$, estas tasas de salida iniciales pueden ser determinadas de manera teórica a partir de la expresión (1):

$$TH_{ei}(0) = r_c \cdot tb_i \cdot SL(\%) / 100 \quad (1)$$

donde:

r_c es la tasa de llegada de los clientes

tb_i es el tiempo de proceso del cuello de botella del proceso asociado al nodo i .

$SL(\%)$ es el nivel de servicio objetivo en tanto por ciento.

En el Paso 2 optimizamos cada proceso de manera individual. Las sucesivas iteraciones se encargarán de ajustar el nivel de inventario, nivel de servicio del proceso y los parámetros de control para cada nodo.

Hay que considerar que la optimización de este tipo de sistemas se va a realizar mediante simulación de eventos discretos. El empleo de herramientas analíticas se restringiría a unos modelos extremadamente sencillos y, probablemente, de poca utilidad. Aunque en la gestión de la cadena de suministro se suelen emplear modelos deterministas o a lo sumo con consideraciones de cierta incertidumbre en la demanda, recientemente es fácil encontrar nuevos trabajos que emplean la simulación como herramienta para estudiar los problemas asociados a la gestión de la cadena de suministro (ver Terzi y Cavalieri 2004 para clasificación de los métodos de modelado en la cadena de suministro). Por tanto, para establecer un entorno más realista, empleamos simulación de eventos discretos y diferentes algoritmos (como por ejemplo algoritmos genéticos, búsqueda tabú, recocido simulado o cross-entropy, entre otros) pueden ser empleados para optimizar el mecanismo propuesto de coordinación de la cadena de suministro.

Además, parece más factible el uso de sistemas a medida en vez de otro mecanismo de control predefinido (ver al respecto Gaury 2000 y Gaury *et al.* 2001). Como se ha discutido previamente, un proceso de optimización global, teniendo en cuenta tanto el mecanismo de coordinación de la cadena de suministro como el sistema de producción a medida para cada nodo, ha sido descartado por el tamaño del problema. Sin embargo, podemos utilizar el algoritmo descrito previamente.

4. Experiencia computacional

4.1. Descripción del modelo

Con el objeto de mostrar el funcionamiento del mecanismo de optimización se ha realizado un experimento sobre una cadena de suministro coordinada por un sistema a medida basado en tarjetas. La cadena de suministro considerada es lineal y está formada por los nodos de aprovisionamiento, producción, distribución y ventas, así como procesos de transporte entre nodos (ver Figura 4). En este experimento cada proceso es controlado por un sistema de control de la producción a medida basado en tarjetas.

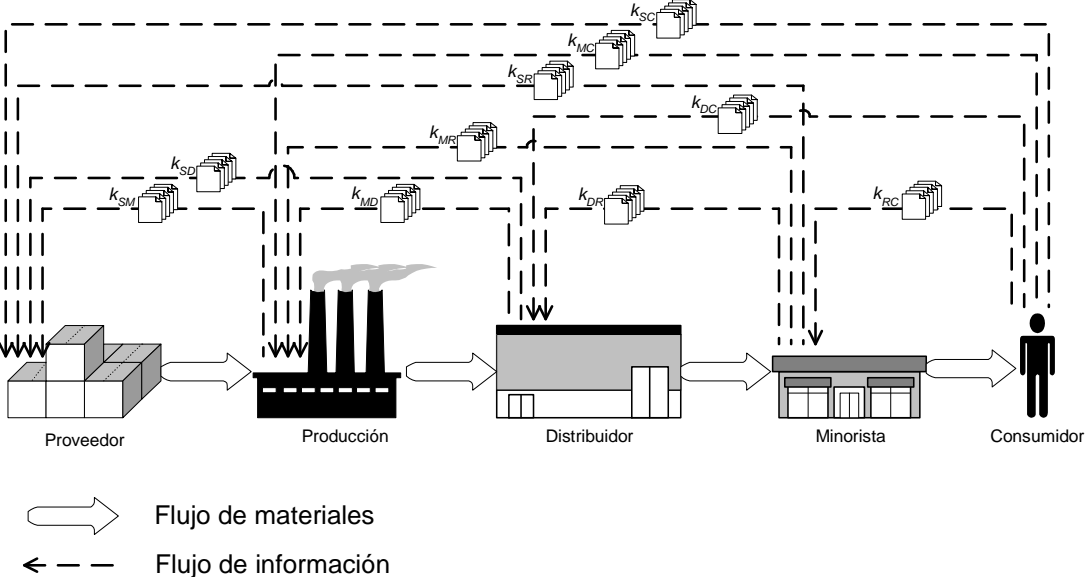


Figura 4. Cadena de suministro coordinada por un sistema a medida basado en tarjetas

Los procesos de transporte han sido designados con la letra T_i , según la Figura 4. Los tiempos de transporte se han supuesto distribuidos exponencialmente, con medias 2.48, 2.76 y 3.06 unidades de tiempo para T_1 , T_2 y T_3 respectivamente.

A continuación se describe cada nodo (proceso):

Aprovisionamiento:

Formado por tres estaciones en línea con tiempos de proceso distribuidos exponencialmente, con medias 3.33, 2.85 y 2.46 unidades de tiempo, respectivamente. El sistema de control inicial se muestra en la Figura 5. Se ha supuesto una disponibilidad infinita de material en la línea.

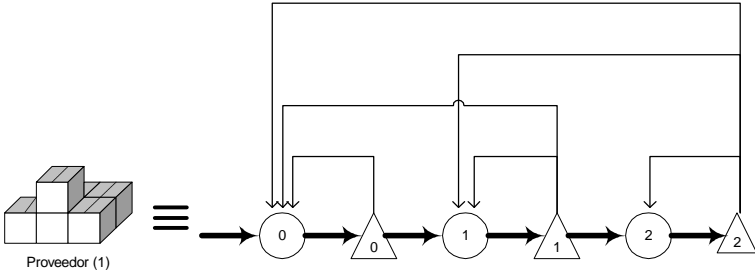


Figura 5. Proceso detallado de aprovisionamiento

Producción:

El proceso de producción está formado por cuatro estaciones en línea con tiempos de proceso distribuidos exponencialmente y medias 3.15, 3.03, 2.78, 3.54 unidades de tiempo, respectivamente. El sistema de control inicial se muestra en la Figura 6. La entrada de trabajos en la línea viene determinada por el proceso de transporte T_1 .

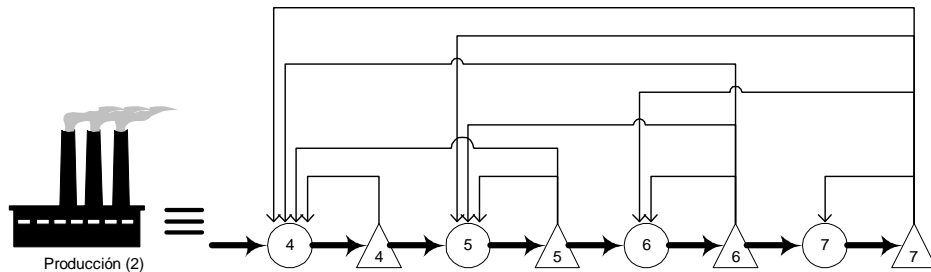


Figura 6. Proceso detallado de producción

Distribución:

Está formado por tres estaciones en línea con tiempos de proceso distribuidos exponencialmente, con medias 2.59, 3.23 y 2.45 unidades de tiempo, respectivamente. El sistema de control inicial se muestra en la Figura 7. La entrada de trabajos en la línea viene determinada por el proceso de transporte T_2 .

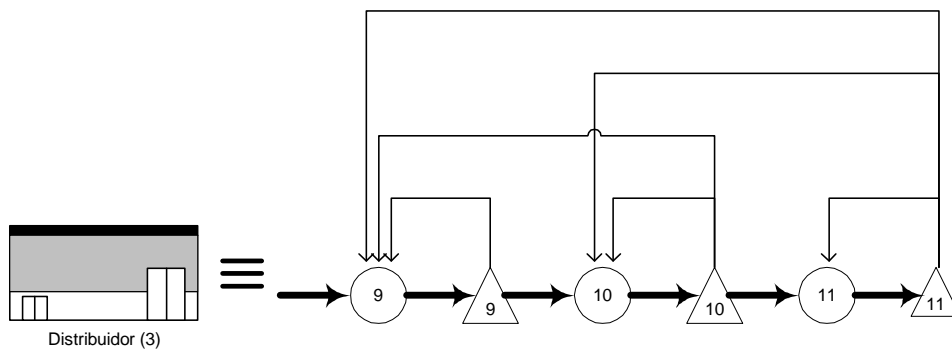


Figura 7. Proceso detallado de distribución

Ventas:

El proceso de ventas (Figura 8) consta de dos estaciones en serie, con tiempos de proceso distribuidos exponencialmente, con medias 3.27 y 2.47 unidades de tiempo respectivamente. La entrada de trabajos en la línea viene determinada por el proceso de transporte T_3 .

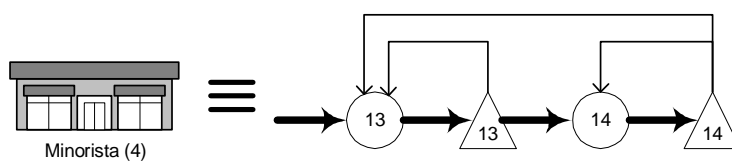


Figura 8. Proceso detallado de ventas

El buffer 14 representa el almacén de productos terminados, FGI, donde el cliente ataca directamente al stock. Para este experimento se ha supuesto que la demanda no satisfecha se pierde. El cliente llega al almacén de productos terminados cada 4 unidades de tiempo siguiendo una distribución exponencial.

Los tiempos de proceso han sido obtenidos aleatoriamente a partir de un valor central de 3 y de manera que las diferencias entre ellos sea inferior al 40%. Algunos autores (ver por ejemplo Lageweg 1978) recomiendan que las diferencias en los tiempos de proceso en un proceso productivos son inferiores al 20%. Sin embargo, al tratarse de una cadena de suministro hemos elegido un 40% como diferencia máxima, con el objeto de para darle mayor realismo a los datos.

Como respuestas del sistema se han tomado, el nivel de inventario medio en proceso, las tasas de salida de cada proceso y el nivel de servicio al cliente final. Se han empleado 10 réplicas de los experimentos y un horizonte de simulación de 20 000 unidades de tiempo, con 2 500 para el periodo de calentamiento (valores han sido obtenidos mediante un estudio previo).

4.2. Resultados

El algoritmo empleado para la optimización ha sido el Cross-Entropy (ver Rubinstein y Kroese, 2004 para una descripción detallada de dicho algoritmo). El algoritmo Cross-Entropy es un método eficiente para resolver problemas en donde la función objetivo debe ser estimada por medio de simulación de eventos discretos. El sistema ha sido optimizado en 6 iteraciones y cuyos resultados se resumen a continuación. El nivel de servicio alcanzado es del 90,91% con un WIP de 32,76 unidades. En la Tabla 1 se muestra un resumen sobre los vectores solución en la última iteración, tanto para el sistema de control de la cadena de suministro como para cada nodo. Los valores ∞ significan que los bucles asociados no necesitan ser implementados, debido a que no implican una restricción al flujo de trabajos (ver Gaury 2000 o González 2006 para más detalles). La notación empleada para el mecanismo de control de la cadena de suministro es acorde a la Figura 4. Cada bucle es caracterizado por el par de nodos que lo forman, usando los siguientes subíndices: S para la el aprovisionamiento, M para producción, D para distribución, R para ventas y C para el cliente.

Tabla 1. Solución iteración 6

	Vector solución	
Mec.Coord.SC	$(k_{SM}, k_{MD}, k_{DR}, k_{RC}, k_{SD}, k_{MR}, k_{DC}, k_{SR}, k_{MC}, k_{SC})$	$(12, \infty, 36, \infty, \infty, \infty, \infty, \infty, \infty, 39)$
Aprovisionamiento	$(k_{00}, k_{11}, k_{22}, k_{01}, k_{12}, k_{02})$	$(\infty, \infty, 7, 13, \infty, \infty)$
Producción	$(k_{44}, k_{55}, k_{66}, k_{77}, k_{45}, k_{56}, k_{67}, k_{46}, k_{57}, k_{47})$	$(4, \infty, 16, \infty, \infty, 18, 19, \infty, \infty, 20)$
Distribución	$(k_{99}, k_{10\ 10}, k_{11\ 11}, k_{9\ 10}, k_{10\ 11}, k_{9\ 11})$	$(11, \infty, \infty, \infty, \infty, 19)$
Ventas	$(k_{13\ 13}, k_{14\ 14}, k_{13\ 14})$	$(\infty, 16, 20)$

6. Conclusiones

En el presente trabajo se ha introducido un mecanismo basado en tarjetas para el control del flujo de materiales en la cadena de suministro. La justificación del beneficio en el empleo de un sistema JIT para el control del flujo de materiales en la cadena de suministro queda justificado por la falta de integración entre la planificación detallada a corto plazo y su propia ejecución, así como los beneficios que la filosofía JIT pueda aportar en el contexto de la cadena de suministro. A continuación se ha introducido un mecanismo de coordinación de la cadena de suministro. Finalmente, en la sección 4, se ha realizado una experimentación. Los

resultados muestran el beneficio del empleo de sistemas a medida para las tareas de coordinación en el contexto de la cadena de suministro, así como los buenos resultados alcanzados por el proceso propuesto de optimización. Futuras investigaciones incluirían la implementación de este tipo de sistemas en cadenas de suministro más complejas, con varios niveles, así como redes de cadenas de suministros en entornos multiproducto.

Referencias

- Christopher, M. (1998). *Logistics and supply management: strategies for reducing costs and improving service*. 2nd ed. London: Financial Times/Prentice-Hall.
- Ganeshan, R. (1999). Managing supply chain inventories: a multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model. *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, No. 1-3, pp. 341-354.
- Gaury, E.G.A. (2000). *Designing Pull Production Control Systems: Customization and robustness*. Tesis Doctoral, Ed. Center, Universidad de Tilburg, Holanda.
- Gaury, E.G.A.; Pierreval, H.; Kleijnen, J.P.C. (2000). An evolutionary approach to select a pull system among Kanban, Conwip and Hybrid. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 11, No. 2, pp. 157-167.
- Gaury, E.G.A.; Pierreval, H.; Kleijnen, J.P.C. (2001). A methodology to customize pull control systems. *Journal of Operational Research Society*, Vol. 52, No. 7, pp. 789-799.
- González, P.L. (2006). *Diseño y operación de sistemas de control de la producción a medida basados en tarjetas*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- Hopp, W.J. (2004). *Supply chain science*, In press. New York: McGraw-Hill.
- Lageweg, B.J.; Lenstra, J.K.; Rinnooy Kan, A.H.G. (1978). A General Bounding Scheme for the Permutation Flow-Shop Problem. *Operations Research*, Vol. 26, no. 1, pp. 53-67.
- Lau, H.C.W.; Lee, W.B. (2000). On a responsive supply chain information system. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 30, No. 7-8, pp. 598-610.
- Liberopoulos, G.; Koukoumialos, S. (2005). Tradeoffs between base stock levels, number of kanbans, and planned supply lead times in production/inventory systems with advance demand information. *International Journal of Production Economics*, Vol. 96, No. 2, pp. 213-232.
- Olhager, J. (2002). Supply chain management: a just-in-time perspective. *Production Planning & Control*, Vol. 13, No. 8, pp. 681-687.
- Persson, F.; Olhager, J. (2002). Performance simulation of supply chain designs. *International Journal of Production Economics*, Vol. 77, No. 3, pp. 231-245.
- Rubiano, O.; Crespo Marquez, A. (2003). Exploring the utilization of a Conwip system for supply chain management. A comparison with fully integrated supply chains. *International Journal of Production Economics*, Vol. 83, No. 2, pp. 195-215.
- Rubinstein, R.Y.; Kroese, D.P. (2004). *The Cross-Entropy Method. A unified Approach to Combinatorial Optimization, Monte-Carlo Simulation, and Machine Learning*, Information Science & Statistics, NY: Springer-Verlag.
- Stadtler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, No. 3, pp. 575-588.
- Terzi, S.; Cavalieri, S. (2004). Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in Industry*, Vol. 53, No. 1, pp. 3-16.
- Wang, S.; Sarker, B.R. (2005). An assembly-type supply chain system controlled by kanbans under a just-in-time delivery policy. *European Journal of Operational Research*, Vol. 162, No. 1, pp. 153-172.