

## Revisión de la literatura sobre la flexibilidad de decisión operacional.

Julien Maheut<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ROGLE. Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera S/N 46021 Valencia. [juma2@upvnet.upv.es](mailto:juma2@upvnet.upv.es)

**Abstract:** En este artículo se presenta una revisión de la literatura sobre la flexibilidad en la toma de decisiones operacionales en el contexto de planificación y gestión en las cadenas de suministro. Esta revisión reflexiona sobre algunas de las definiciones propuestas en la literatura sobre la flexibilidad en la planificación estratégica. Se propone una caracterización de los diferentes tipos de flexibilidad presentes en la literatura en función de las diferentes tareas de planificación existentes y de las diferentes consideraciones en el uso de los materiales.

**Keywords:** Flexibilidad; Cadena de Suministro; Planificación de las Operaciones; Estado del arte.

### 1. Introducción y objetivos

Las empresas necesitan herramientas cada vez más detalladas y completas para realizar el modelado de sus operaciones. Por esta razón, hace unos diez años, aparecieron los sistemas denominados Advanced Production & Scheduling (APS) para planificar de forma colaborativa las diferentes áreas entre cada uno de los eslabones de la cadena de suministro (David et al., 2006; Stadtler, 2005; Stadtler y Kilger, 2002). Pero, esos APS no pueden cubrir todas las expectativas de los clientes cuando los procesos son complejos. Esto es debido a la difícil integración de las tareas de planificación y a la existencia de estructuras de productos complejos y crecientes. Por ejemplo, las estructuras de productos pueden variar de un eslabón a otro. En el caso de la industria automóvil, los chasis se hacen en una planta de estampación donde a partir de pocas materias primas, se obtienen muchos productos que pueden ser co-productos o by-productos (Deuermeyer y Pierskalla, 1978). Otro caso donde se caracteriza esos productos se puede encontrar en (Weidema, 1999). Otro ejemplo en el mismo sector es el caso de productos/componentes de sustitución como en el caso de motores (García-Sabater et al., 2009a) donde un mismo producto se puede conseguir con diferentes listas de materiales.

Integrar todas las tareas de planificación consistiría en ser capaz de representar todas las alternativas en decisiones que se suelen usar en la práctica. En la literatura, se ha abordado temas de Listas de materiales alternativas (*alternative BOMs*), Listas de Materiales flexibles (*flexible BOM*), rutas alternativas (*routings alternativos*), Listas de Materiales de desensamblaje (*DBOM*), logística reversa, pero siempre esos problemas se resuelven de una forma local. Abordar este problema de forma aislada dificulta la resolución del problema integrado.

Por otra parte, la realidad operacional industrial demuestra que las empresas se deben adaptar a entornos inestables. De hecho, aparte de usar niveles de stock de seguridad, niveles de cobertura en días de demanda o los tiempos de “*runs-out*” (Akkerman y van Donk, 2009; Soman et al., 2007), las empresas siempre disponen de una flexibilidad

operacional que les permite ajustar los planes o modificarlos. Es el caso por ejemplo en el aprovisionamiento de piezas para el automóvil, algunas plantas tienen proveedores lejanos y suelen recibir piezas por barcos. Durante una situación estable, si existe una rotura de stock, la planta puede cambiar sus modos de transporte para realizar un pedido urgente vía avión (a pesar de no ser un modo de transporte establecido en los contratos). También, nuestra experiencia en el sector automovilístico nos permite decir que la realidad industrial se hace muy compleja a veces cuando existen restricciones que se deben tener en cuenta: mantenimiento de líneas o máquinas, destrucción de productos, etc.

La flexibilidad y la robustez en el contexto de cadenas de suministro son términos que se suelen usar cuando las empresas tienen que enfrentarse a la incertidumbre. Se considera por definición que una decisión robusta es aquella que no se ve afectada por una forma de incertidumbre. Mientras que una decisión flexible es aquella que puede ser modificada para adaptarse a una nueva situación (Schutz et al., 2009).

Esa definición de la flexibilidad se puede aplicar a los tres horizontes de planificación que se suelen distinguir en la literatura: la planificación a nivel estratégico, a nivel táctico y a nivel operacional. La planificación de las cadenas de suministro a nivel estratégico consiste en decidir de la configuración de la red (por ejemplo el número, la ubicación, la capacidad y la tecnología de las entidades consideradas). A nivel táctico, la planificación consiste en determinar las cantidades agregadas del flujo de material para los procesos de compra, producción y transporte de los productos mientras que a nivel operacional, el objetivo consiste en secuenciar las operaciones que se deben llevar a cabo de forma más detallada (Stadtler y Kilger, 2002).

Generalmente, la selección de esos dos tipos de flexibilidad se decide a nivel estratégico para el diseño de las redes de suministro. Por ejemplo, Sabri y Beamon (2000) definen dos tipos de flexibilidad para las redes de suministro a nivel estratégico: la flexibilidad en volumen (o exceso de capacidad) y la flexibilidad en la entrega. Según esas autores, la primera hace referencia a la posibilidad de ajustar (aumentando o disminuyendo) la producción en función de la demanda. Y el segundo tipo de flexibilidad hace referencia a la capacidad de cambiar tanto la cantidad entregada y la fecha de entrega (por ejemplo: la existencia de *backlogs* positivos (retrasos en entregas) en (García-Sabater et al., 2009b)).

A nivel táctico y operacional, existe otro tipo de flexibilidad. Shutz et al. (2009) la definen como la flexibilidad de decisión operacional. Esta sirve para describir la flexibilidad en las operaciones en la cadena de suministro como puede ser el caso del uso de rutas alternativas, del aprovisionamiento externo (*outsourcing*), etc. Sin embargo, cuando los autores intentan definir ese tipo de flexibilidad, no la caracterizan con detalle. Por ello, el objetivo de este artículo es revisar en la literatura y en las prácticas industriales lo que se entiende por flexibilidad operacional.

La caracterización que se propone es caracterizar la flexibilidad en función de las tareas de planificación tradicionales (aprovisionamiento, producción, transporte) pero también en función del manejo del material. Esos conceptos se explicarán a continuación.

En el segundo punto, se describirá la metodología usada para realizar la revisión de la literatura. En el punto 3, se presentarán los resultados y las algunas de las diferentes

facetas de la flexibilidad de decisión operacional. En el último apartado, se hará una conclusión y se presentarán futuras líneas de investigación.

## 2. Metodología

El proceso de búsqueda se llevó a cabo con bases de datos bibliográficas científico-técnicas que incluyen la publicación de portales como Elsevier, Taylor y Francis Wiley, o Esmeralda. Los criterios de búsqueda se aplicaron los siguientes: *flexibility, Bill of Material, alternative, alternate, routing; process, tactical level planning, operational level planning, variability*. Por otra parte, las referencias bibliográficas de los artículos estudiados han servido como referencia de la búsqueda continua.

## 3. Resultados, facetas y definición de la flexibilidad de decisión operacional

33 referencias relevantes y representativas fueron seleccionadas por su relación estrecha con el tema considerado. Todas las referencias encontradas provienen de revistas, conferencias y libros. La tabla 1 muestra la distribución de las referencias en función de la fuente de ellas.

**Tabla 1. Distribución de las referencias en función de las fuentes**

Fuente	Referencias
Cache Publications	1
Computers & Chemical Engineering	1
Computers & Industrial Engineering	1
DYNA Ingeniería e Industria	1
European Journal of Operational Research	7
Handbooks in Operations Research and Management Science	1
Interfaces	1
International Journal of Computer Integrated Manufacturing	1
International Journal of Flexible Manufacturing Systems	1
International Journal of Materials and Structural Integrity	1
International Journal of Operations & Production Management	1
International Journal of Production Economics	4
International Journal of Production Research	3
Journal of Marketing Research	1
Manufacturing Service Operations Management	1
Mecanique et Industries	1
Omega	2
OR Spectrum	3
Transportation Science	1
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>

Tras la revisión de la literatura, proponemos caracterizar la flexibilidad en función de las tareas (aprovisionamiento, producción, transporte) pero también en función del material. Esos conceptos se explicarán a continuación. También, la “flexibilidad operacional” no se enfocará solamente en las tareas de planificación a corto plazo sino

también se consideran las del medio plazo debido a la dificultad para separar esos dos horizontes.

### **3.1.1. La flexibilidad operacional en el aprovisionamiento**

El aprovisionamiento consiste en la tarea de establecer planes para el reaprovisionamiento periódico de material con los proveedores. En general, el departamento de *Material Planning & Logistics* o el de Compras se encarga de realizar esa tarea. Los objetivos del aprovisionamiento operacional consisten en mantener en stock una cierta cantidad mínima de productos para poder cubrir todas las necesidades de productos para su transformación, minimizando los costes de compras de este. Estos mínimos de stock existente sobre la forma de stock de seguridad (Persona et al., 2007), *run-out time* (Carrillo y Franza, 2006; Matta et al., 2007) o niveles de cobertura en días de demanda (Puig-Bernabeu et al., 2010).

Son varios los ejemplos de flexibilidad que existen en la realidad industrial: la flexibilidad en cuanto a la selección de los proveedores a los cuales se compran los productos (Aissaoui et al., 2007), la flexibilidad en las cantidades que se pueden pedir, la flexibilidad para hacer pedidos urgentes (Wilson y Platts, 2010) que tienen características diferentes a las que suelen estar en los ERPs, etc.

### **3.1.2. La flexibilidad operacional en la producción**

La producción consiste en cualquier tarea que transforma un conjunto de productos en un estado dado en un conjunto de producto en otro estado. En general, la tarea de planificación de producción consiste en la definición de los planes de producción y planes de *routing* o secuencia. Muchos son los objetivos presentes en la literatura: maximizar la utilización de los recursos, minimizar los tiempos ociosos, equilibrar la carga de líneas, etc. Una flexibilidad consistiría en poder aceptar nuevos planes de producción (plazos, tiempo, productos,...). También, la flexibilidad en la producción consiste en poder considerar diferentes rutas (Hachicha et al., 2008; Hachicha et al., 2009) para producir un mismo conjunto de productos (*alternative routing*), poder cambiar una secuencia ya establecida, ser capaz de producir nuevos productos con coste de lanzamientos bajos, poder considerar *ramp-ups time* (Carrillo y Franza, 2006), tareas de mantenimiento, formación de los empleados, etc.

### **3.1.3. La flexibilidad operacional en el transporte**

Los procesos de transporte consisten en gestionar los flujos de materiales que conectan un nodo de una cadena de suministro con otros nodos (sus clientes o sus proveedores) según Fleischmann en (Stadtler y Kilger, 2002). En general, esas tareas son responsabilidades del operador logístico o del departamento de logística. Un tipo de flexibilidad consiste en ser capaz de modificar planes de entrega (concepto similar al de Sabri y Beamon (2000)). Pero esa flexibilidad en los planes de entrega se debe a varias flexibilidades: la flexibilidad en las rutas de transporte, la flexibilidad en las características de la flota de camiones disponibles, la flexibilidad en el modo de transporte (*full truck loading* (Arunapuram et al., 2003; Gronalt et al., 2003), *less than truckload* (Bilgen y Günther, 2009)), la flexibilidad en el número de chóferes que

permite tiempos de tránsito más o menos cortos, la flexibilidad en el modo de transporte (camión, barco o avión), etc.

También otro tipo de flexibilidad consiste en la capacidad para incorporar nuevas localizaciones. Eso se suele resolver incorporando más subíndices a las variables. Como sugieren de Kok y Fransoo (2003) y posteriormente Pires et al. (2008) un producto en otro sitio, no es más que otro producto.

Pires et al. (2008) hablan de la *Bill of Materials and Movements* (BOMM) en el ámbito de la Virtual Enterprise (VE). De hecho, la citada estructura la definen como una pieza central para los sistemas de Planificación de Producción y control de las VE según la propuesta de Carvalho et al. (2005). Según esos autores, sólo una estructura de materiales que incluya también la ubicación de los productos permitirá la coordinación de lo que denominan Sistemas Autónomos de Producción. El artículo plantea la estructura de materiales y movimientos como un ente dinámico y propone los diagramas IDEF0 de los procesos que permitirán modificar y mantener los BOMM a lo largo de la vida de la VE. No plantea, sin embargo, ningún modo de coordinación, sino que asume que este debe tener en cuenta la estructura propuesta. Un problema suplementario aparece con la gestión de transportes alternativos considerados por ejemplo en (Calderon-Lama et al., 2009).

### **3.1.4. La flexibilidad operacional en el uso de los materiales**

#### **Productos y Recursos Sustitutivos**

La existencia de componentes sustitutivos fue planteado por Escudero (1994) y tiene ventajas evidentes por la agregación de riesgos en la disponibilidad de componentes y en la agregación de demanda (Balakrishnan y Geunes, 2000). El problema recibe ocasionalmente el nombre de *Requirement Planning with Substitution* (RPS) y requiere un tiempo de computación elevado que se pretende resolver mediante formulaciones alternativas (Geunes, 2003) cada vez más complejas pese a que el problema no es multi-nivel. Lang y Domschke (2010) proponen una extensión de ese problema en el que considera capacidad limitada para uno o múltiples recursos.

Una variante interesante son las *flexible Bill of Materials* propuestas por Ram et al. (2006) en las que la lista de materiales depende de la disponibilidad de los mismos. Aunque los mismos autores sostienen que en la mayor parte de los sistemas de producción no es aplicable este concepto.

Lin et al. (2009) sugieren que la existencia de productos alternativos puede ser una decisión del fabricante, fundamentalmente como resultado del *product binning*, pero no parecerle adecuada pues determinados clientes que son capaces de reconocer la diferencia.

De este modo, el número de productos alternativos crecería en función de los componentes alternativos utilizados. Si el número de elementos alternativos que simultáneamente se pueden considerar para un producto es elevado como sugieren Balakrishnan y Geunes (2000), es interesante utilizar el concepto de *phantom products*. Clement et al. (1995) los definen de la manera siguiente: “*Los Phantom ítems no se producen nunca y tampoco se almacenan*”.

Los problemas de lotificación que incorporan selección de proveedores o múltiples alternativas de fabricación están también relacionadas con la sustitución de productos (Aissaoui et al., 2007) tanto en el modo de plantearlos como en el modo de resolverlo. De modo similar, los transportes laterales propuestos por Tagaras (1999) son asimilables a sustitución de productos.

Caner Taskin y Tamer Ünal (2009) plantean un modelo de planificación que considera simultáneamente productos sustituibles, *yield production*, co-producción y multi-sitios. Aunque el problema es multi-nivel y multi-sitios lo indica pero lo soslaya, así que en realidad lo transforma en un análisis de recursos alternativos (ubicados en diferentes lugares).

Una circunstancia que, a lo mejor de nuestro conocimiento, no ha sido modelada sería considerar lead-times diferentes a costes diferentes utilizando el mismo recurso. Algunos autores sugieren que la definición del Lead time es exógena al problema (de Kok y Fransoo, 2003). Parecería interesante desarrollar un modelo de costes según el cual un proveedor se podría comprometer a un plazo inferior a un coste superior (en la misma máquina y con el mismo consumo de recursos).

### **Listas Inversas**

Las listas inversas se producen cuando un producto, a través del proceso de transformación, da lugar a dos o más productos. Uno de los motivos que generan esta necesidad es la aparición de los denominados co-productos y/o by-productos o incluso Segerstedt (1996) les llama divergentes e indica que el modo de modelarlo es asumir que el valor de  $a_{ij}$  establece la cantidad de cada  $i$  que se obtiene de la transformación del mismo  $j$ .

La co-producción, que en la industria de los procesos es habitual (Crama et al., 2001) no es muy considerada en la teoría de la fabricación discreta. La existencia de co-productos (o by-productos) es tratada generalmente como no deliberada (Öner y Bilgiç, 2008) aunque también puede ser deliberada (Vidal-Carreras y Garcia-Sabater, 2009), es decir se decide fabricar conjuntamente uno o dos o más productos simultáneamente en la misma operación.

Una variante del problema de las listas inversas es el de *product binning* (Lyon et al., 2001) donde se obtienen diferentes calidades de producto al realizar la operación, pero siempre tras un análisis del resultado.

Otro tipo especial de problemas con estructuras inversa se da en el denominado “*Reverse MRP*” (Gupta y Taleb, 1994). Este problema hace referencia a productos que no se ensamblan sino que se desensamblan o trocean. La representación de estas estructuras se suele hacer de modo inverso al de la estructura convencional (Inderfurth y Langella, 2006). Spengler et al. (1997) introducen el fenómeno para el proceso de desmantelamiento de edificios, y considera diferentes alternativas de actividad que generan diferentes proporciones de producto acabado. Los citados autores proponen un modelo MILP, aunque en 1997 opinaban que los softwares comerciales no podrían resolverlo en tiempo razonable. Aparentemente el problema de lotificación es bastante más complicado en inverso que en directo (Barba-Gutierrez et al., 2008).

En general nunca se mezclan en el modelado matemático del problema las listas directas con las inversas. Schutz et al. (2009) incorporan las listas inversas junto con las directas. Para resolver el problema de integrarlas en el mismo modelo, se establecen dos matrices

diferentes para cada una de ella. A las directas las denomina BOM y a las inversas r-BOM.

### **Varios inputs y varios outputs en el mismo proceso**

En la realidad industrial, se puede observar procesos en los que se produce una separación y un ensamblaje conjuntamente (o en procesos que pueden ser considerados simultáneos). Estos procesos simultáneos de ensamblaje y separación son muy habituales en la industria química. Pantelides (1994) presenta una estructura en forma de Grafo bipartito denominada "*State Task Network*" que posteriormente fue ampliada a "*Resource Task Network*" siendo muy utilizada en trabajos relacionados con la secuenciación en la industria química. Sousa et al. (2008) plantean un modelo integrado de planificación y secuenciación para una red de empresas de productos químicos. Su propuesta incluye dos etapas de resolución mediante modelos MILP, y tras haber planteado la existencia de este tipo de procesos (con varios inputs y varios outputs) en la industria química, los simplifica a la estructura convencional al plantear sus modelos que sin embargo sí incluyen transporte entre plantas.

## **4. Conclusión**

En este trabajo se realiza una revisión de la literatura sobre la flexibilidad en las decisiones operacionales. Se propone una clasificación de la flexibilidad en función de la propia tarea de planificación, que sea de aprovisionamiento, de producción o de transporte, y también caracteriza la flexibilidad en función del propio uso que se puede realizar con los materiales. Una futura ampliación consistirá en proponer un marco de referencia para caracterizar el tema de la flexibilidad en las decisiones operacionales basándose en el trabajo de Nilsson y Nordahl (1995).

## **5. Agradecimientos**

El presente trabajo se ha desarrollado gracias a la ayuda DPI2010-18243 del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España dentro del programa de Proyectos de Investigación Fundamental no orientada, con el título "COORDINACION DE OPERACIONES EN REDES DE SUMINISTRO/DEMANDA AJUSTADAS, RESILIENTES A LA INCERTIDUMBRE: MODELOS Y ALGORITMOS PARA LA GESTION DE LA INCERTIDUMBRE Y LA COMPLEJIDAD". Asimismo, esta investigación también ha sido financiada mediante una beca doctoral concedida por la Generalitat Valenciana de España a Julien Maheut (Ref. ACIF/2010).

## **6. Referencias**

Aissaoui, N.; Haouari, M.; Hassini, E. (2007). Supplier Selection and order lot sizing modeling: a review. *Computers & Operations Research*, Vol. 34, n°. 12, pp. 3516-3540.

Akkerman, R.; van Donk, D. P. (2009). Product mix variability with correlated demand in two-stage food manufacturing with intermediate storage. *International Journal of Production Economics*, Vol. 121, n°. 2, pp. 313-322.

- Arunapuram, S.; Mathur, K.; Solow, D. (2003). Vehicle Routing and Scheduling with Full Truckloads. *Transportation Science*, Vol. 37, n° 2, pp. 170-182.
- Balakrishnan, A.; Geunes, J. (2000). Requirements Planning with Substitutions: Exploiting Bill-of-Materials Flexibility in Production Planning. *Manufacturing Service Operations Management*, Vol. 2, n° 2, pp. 166-185.
- Bilgen, B.; Günther, H. O. (2009). Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application. *OR Spectrum*.
- Calderon-Lama, J. L.; Garcia-Sabater, J. P.; Lario, F. C. (2009). Modelo para la planificación de Operaciones en Cadenas de Suministro de Productos de Innovación. *DYNA Ingeniería e Industria*, Vol. 84, n° 6, pp. 517-526.
- Caner TaskIn, Z.; Tamer Ünal, A. (2009). Tactical level planning in float glass manufacturing with co-production, random yields and substitutable products. *European Journal of Operational Research*, Vol. 199, n° 1, pp. 252-261.
- Carrillo, J. E.; Franza, R. M. (2006). Investing in product development and production capabilities: The crucial linkage between time-to-market and ramp-up time. *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, n° 2, pp. 536-556.
- Carvalho, J. D. A.; Moreira, N. A.; Pires, L. C. M. (2005). Autonomous Production Systems in virtual enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 18, n° 5, pp. 357-366.
- Clement, J.; Coldrick, A.; Sari, J. (1995). *Manufacturing data structures: building foundations for excellence with bills of materials and process information*. Wiley.
- Crama, Y., Pochet, Y., & Wera, R. (2001). *Production planning approaches in the process industry*. UCL, Belgium.
- David, F.; Pierreval, H.; Caux, C. (2006). Advanced planning and scheduling systems in aluminium conversion industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 19, n° 7, pp. 705-715.
- de Kok, T. G.; Fransoo, J. C. (2003). Planning Supply Chain Operations: Definition and Comparison of Planning Concepts, en S. C. Graves (dir), *Handbooks in Operations Research and Management Science Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation*, pp. 597-675. Elsevier.
- Deuermeyer, B. L.; Pierskalla, W. P. (1978). A by-product production system with an alternative. *Management Science*, Vol. 24, n° 13, pp. 1373-1383.
- Escudero, L. F. (1994). CMIT, capacitated multi-level implosion tool. *European Journal of Operational Research*, Vol. 76, n° 3, pp. 511-528.
- Garcia-Sabater, J. P., Maheut, J., & Garcia-Sabater, J. J. (2009a). A Capacited Material Requirements Planning Model considering Delivery Constraints, in 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, pp. 793-803.
- Garcia-Sabater, J. P., Maheut, J., & Garcia-Sabater, J. J. (2009b). A Capacited Material Requirements Planning Model considering Delivery Constraints: A Case Study from the Automotive Industry, in 39th International Conference on Computers & Industrial Engineering, pp. 378-383.



- Geunes, J. (2003). Solving large-scale requirements planning problems with component substitution options. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 44, n° 3, pp. 475-491.
- Gronalt, M.; Hartl, R. F.; Reimann, M. (2003). New savings based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads. *European Journal of Operational Research*, Vol. 151, n° 3, pp. 520-535.
- Gupta, S. M.; Taleb, K. N. (1994). Scheduling Disassembly. *International Journal of Production Research*, Vol. 32, n° 8, pp. 1857-1866.
- Hachicha, W.; Masmoudi, F.; Haddar, M. (2008). A Taguchi method application for the part routing selection in generalised group technology. *International Journal of Materials and Structural Integrity*, Vol. 2, n° 4, pp. 396-406.
- Hachicha, W.; Masmoudi, F.; Haddar, M. (2009). Design of experiments and analysis of correlations for the resolution of the problem of cell formation with alternative lines. *Mecanique et Industries*, Vol. 10, n° 5, pp. 337-350.
- Inderfurth, K.; Langella, I. (2006). Heuristics for solving disassemble-to-order problems with stochastic yields. *OR Spectrum*, Vol. 28, n° 1, pp. 73-99.
- Lang, J.; Domschke, W. (2010). Efficient reformulations for dynamic lot-sizing problems with product substitution. *OR Spectrum*, Vol. 32, n° 2, pp. 263-291.
- Lin, J. T.; Chen, T. L.; Lin, Y. T. (2009). Critical material planning for TFT-LCD production industry. *International Journal of Production Economics*, Vol. 122, n° 2, pp. 639-655.
- Lyon, P.; Milne, R. J.; Orzell, R.; Rice, R. (2001). Matching Assets with Demand in Supply-Chain Management at IBM Microelectronics. *Interfaces*, Vol. 31, n° 1, pp. 108-124.
- Matta, A.; Tomasella, M.; Valente, A. (2007). Impact of ramp-up on the optimal capacity-related reconfiguration policy. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 19, n° 3, pp. 173-194.
- Nilsson, C. H.; Nordahl, H. (1995). Making manufacturing flexibility operational-part 1: a framework. *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 6, n° 1, pp. 5-11.
- Öner, S.; Bilgiç, T. (2008). Economic lot scheduling with uncontrolled co-production. *European Journal of Operational Research*, Vol. 188, n° 3, pp. 793-810.
- Pantelides, C. C. (1994). Unified Frameworks for the Optimal Process Planning and Scheduling, in 2nd Conference on the Foundations of Computer Aided Operations, Cache Publications, pp. 253-274.
- Persona, A.; Battini, D.; Manzini, R.; Pareschi, A. (2007). Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components. *International Journal of Production Economics*, Vol. 110, n° 1-2, pp. 147-159.
- Pires, L. C. M.; Carvalho, J. D. A.; Moreira, N. A. (2008). The role of Bill of Materials and Movements (BOMM) in the virtual enterprises environment. *International Journal of Production Research*, Vol. 46, n° 4, pp. 1163-1185.
- Puig-Bernabeu, X., Maheut, J., Garcia-Sabater, J. P., & Lario, F. C. (2010). Algorithm for planning the supply of products with FTL strategy in a lean environment: an

industrial case, in ICOVACs 2010 - International Conference on Value Chain Sustainability, pp. 174-182.

Ram, B.; Naghshineh-Pour, M. R.; Xuefeng, Y. (2006). Material requirements planning with flexible bills-of-material. *International Journal of Production Research*, Vol. 44, n°. 2, pp. 399-415.

Sabri, E. H.; Beamon, B. M. (2000). A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega*, Vol. 28, n°. 5, pp. 581-598.

Schutz, P.; Tomasgard, A.; Ahmed, S. (2009). Supply chain design under uncertainty using sample average approximation and dual decomposition. *European Journal of Operational Research*, Vol. 199, n°. 2, pp. 409-419.

Segerstedt, A. (1996). A capacity-constrained multi-level inventory and production control problem. *International Journal of Production Economics*, Vol. 45, n°. 1-3, pp. 449-461.

Soman, C. A.; van Donk, D. P.; Gaalman, G. J. C. (2007). Capacitated planning and scheduling for combined make-to-order and make-to-stock production in the food industry: An illustrative case study. *International Journal of Production Economics*, Vol. 108, n°. 1-2, pp. 191-199.

Sousa, R.; Shah, N.; Papageorgiou, L. G. (2008). Supply chain design and multilevel planning--An industrial case. *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 32, n°. 11, pp. 2643-2663.

Spengler, T.; Püchert, H.; Penkuhn, T.; Rentz, O. (1997). Environmental integrated production and recycling management. *European Journal of Operational Research*, Vol. 97, n°. 2, pp. 308-326.

Stadtler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning--basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, n°. 3, pp. 575-588.

Stadtler, H.; Kilger, C. (2002). *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies*. Springer.

Tagaras, G. (1999). Pooling in multi-location periodic inventory distribution systems. *Omega*, Vol. 27, pp. 39-59.

Vidal-Carreras, P.; Garcia-Sabater, J. P. (2009). Comparison of heuristics for an economic lot scheduling problem with deliberated coproduction. *Journal of Marketing Research*, Vol. 2, n°. 3, pp. 437-463.

Weidema, B. P. (1999). System expansions to handle co-products of renewable materials, pp. 45-48.

Wilson, S.; Platts, K. (2010). How do companies achieve mix flexibility? *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 30, n°. 9, pp. 978-1003.