

Modelos y Métodos para la Planificación de la Producción de la Cadena de Suministro bajo Incertidumbre: Una introducción al Estado del Arte.

Josefa Mula Bru¹, Raúl Poler Escoto², Francisco Cruz Lario Esteban³

¹Ingeniero de Organización Industrial. Escuela Politécnica Superior de Alcoy. Universidad Politécnica de Valencia. Plaza Ferrándiz - Carbonell, 2; 03801 Alcoy (Alicante), fmula@omp.upv.es

²Dr. Ingeniero Industrial. Escuela Politécnica Superior de Alcoy. Universidad Politécnica de Valencia. Plaza Ferrándiz-Carbonell, 2; 03801 Alcoy (Alicante), rpoler@omp.upv.es

³Dr. Ingeniero Industrial. E.T.S.I.I. Universidad Politécnica de Valencia. Campus Vera s/n. 46021 Valencia., fclario@omp.upv.es

RESUMEN

Ante el dinamismo, la complejidad y la globalización de la economía, la planificación de la producción gana importancia a la hora de conseguir un uso eficiente de los recursos de la empresa. Los sistemas de planificación de la producción más utilizados hoy están integrados en aplicaciones ERP basadas en sistemas MRP II. En los 90, una serie de autores destacaron los principales inconvenientes del MRP II, uno de los cuales es su orientación hacia entornos de certidumbre.

Este artículo proporciona un estudio de los modelos y métodos propuestos para la planificación de la producción bajo incertidumbre.

1. Introducción.

Este artículo se enmarca dentro de la tesis en curso titulada *Modelos y Métodos para la Planificación de la Producción de la Cadena de Suministro en un entorno de incertidumbre. Aplicación al sector del automóvil.*

La planificación de la producción es una herramienta que permite a las empresas reaccionar con la flexibilidad requerida por el mercado. Los sistemas de planificación de la producción más utilizados hoy por los fabricantes están integrados en aplicaciones ERP (*Enterprise Resource Planning*). Los ERP fueron desarrollados con una finalidad de integración de los procesos de negocio empresariales, tales como, ingeniería, compras, producción, ventas, finanzas, etc.

La mayor parte de los ERP están basados sobre un sistema de planificación y control de la producción denominado MRP II (*Manufacturing Resource Planning*) (Plossl y Wight, 1967), (Orlicky, 1975) y (Vollmann y otros, 1988). Aunque fueron surgiendo enfoques alternativos al MRP II, como las técnicas japonesas *Just in Time* (Schonberger, 1980) o las técnicas OPT (Goldratt y Cox, 1986), a finales de los 80 el MRP II era el sistema dominante. En los 90, una serie de autores destacan los principales inconvenientes del MRP II, (Darlington y Moar 1996, Spearman y otros 1996 y Aquilano y otros 1998). Una de las principales desventajas es su orientación hacia entornos de certidumbre.

La idea de incorporar la incertidumbre en los modelos matemáticos aparece con Dantzig (1955), conocido como “el padre de la programación lineal”. Sin embargo, esta visión no ha sido atractiva hasta la actualidad debido a los elevados requerimientos computacionales.

Existe un gran número de enfoques en los que la incertidumbre puede ser formalizada. Debido a la gran extensión necesaria para tratar con profundidad todos los métodos relativos a la planificación de la producción bajo incertidumbre, el objetivo de este artículo es mostrar la esencia de los enfoques más destacados.

2. Modelos y Métodos existentes.

2.1 Programación Estocástica (PE).

La programación lineal es una herramienta fundamental de planificación aunque una de sus limitaciones es el requerimiento de que toda la información se conozca con certidumbre. Los modelos de PE combinan el paradigma de la programación lineal con la formulación de parámetros aleatorios. La PE puede usar escenarios o distribuciones de probabilidades para los parámetros inciertos. Diversos autores han sugerido numerosos modelos de PE, en lo referente a la planificación de la producción cabe destacar:

Eppen y otros (1989) desarrollan un modelo para planificar las capacidades de un importante fabricante de automóviles. El modelo de PE se basó en escenarios de demandas con ciertas probabilidades. Además, se incorporó un análisis de riesgo.

Escudero y Kamesan (1993) presentan un modelo de PE para el problema del MRP (*Material Requirements Planning*) con incertidumbre en la demanda. Escudero y otros (1993) analizan diferentes enfoques para la planificación de la producción y la capacidad utilizando PE.

Mulvey y otros (1995) formulan un modelo que denominan Optimización Robusta, en el que consideran la incertidumbre de forma proactiva, en lugar de reactiva, como lo hace el análisis de sensibilidad tradicional.

Kira, Kusy y Rakita (1997) proponen el uso de la PE para problemas de planificación jerárquica de la producción.

Sen y Higle (1999) presentan un tutorial introductorio de PE donde explican diferentes modelos de programación lineal bajo incertidumbre en un nivel muy elemental. Los ejemplos incluyen un modelo de planificación de la producción. Sen y Higle resaltan los enormes requerimientos de información que bajo determinadas circunstancias dificultan la captura de la aleatoriedad a través de un árbol de escenarios.

Karabuk y Wu (1999) formulan un programa estocástico para resolver el problema de la planificación agregada de un importante fabricante de semiconductores. En este caso, la planificación de la capacidad debe considerar dos puntos de vista distintos, uno relativo al producto, y el otro, desde un punto de vista del proceso. Lo más novedoso de este modelo es que estudia el efecto de la descentralización en un entorno de toma de decisiones estocástico.

Koutsoukis y Domínguez (2000) desarrollan un prototipo de sistema de ayuda para la toma de decisiones de planificación en la cadena de suministro. El sistema tiene un motor de decisión que utiliza un programa estocástico de dos etapas. El sistema ha sido usado para la toma de decisiones en entornos de fabricación tan diversos como, la fabricación y montaje de automóviles y la fabricación de productos de consumo.

Lario y otros (2001) describen el proceso de generación y análisis de escenarios como herramienta para la gestión de la cadena de suministro con incertidumbre en el ámbito de la fabricación, montaje, distribución y servicio en el sector de fabricación y montaje de vehículos.

Valente, Mitra y otros (2001) identifican la necesidad creciente de desarrollar sistemas que soporten la formulación e investigación de problemas de PE y presentan el sistema SPInE. Diferentes investigadores han reportado el desarrollo de sistemas para la PE. Estos se encuentran en diferentes etapas de finalización y uso y son resumidos en la tabla 1:

Nombre	Afiliación	Nombre del sistema
JJ Bisshop y otros	Paragon Decision Technology	AIMMS
A Meeraus y otros	GAMS	GAMS
B Kristjansson	Maximal Software	MPL
R Fourer y otros	Northwestern University	AMPL
MAH Dempster y otros	Cambridge University	STOCHGEN
E Fragniere y otros	University of Geneva	SETSTOCH
A King y otros	IBM	OSL/SE
HI Gassmann y otros	Dalhousie University	MSLIP
G Infanger y otros	Stanford University	DECIS
P Kall y otros	University of Zürich	SLP-IOR
G Mitra y otros	Brunel University	SPInE

Tabla 1: Sistemas para la PE (Valente, Mitra y otros, 2001).

2.2 Teoría de los conjuntos difusos (fuzzy sets)

La teoría de los conjuntos difusos hace una distinción entre aleatoriedad e imprecisión. Bellman y Zadeh (1970) presentan la forma de aplicar la teoría de conjuntos difusos a la toma de decisiones con incertidumbre. Los autores cuestionan el uso del enfoque probabilista ya que, según ellos, la imprecisión que normalmente se encuentra en muchas situaciones no es lo mismo que aleatoriedad.

Según Petrovic (2001), la incertidumbre existente en algunos parámetros necesarios para la gestión de la cadena de suministro ha sido tratada principalmente como procesos estocásticos y descrita por distribuciones de probabilidad. Una distribución de probabilidad se deriva usualmente de evidencias registradas en el pasado. Lo que requiere que las evidencias registradas sean completas e imparciales, además, el mecanismo estocástico que generó los datos registrados debe continuar en vigor y sin cambios. Sin embargo, existen situaciones donde todos estos requerimientos no se satisfacen y, por lo tanto, los métodos probabilísticas convencionales no son apropiados. En estas situaciones, la incertidumbre de los parámetros puede ser especificada basándose en la experiencia y juicios subjetivos. Para expresar estas descripciones aproximadas, los conjuntos difusos (Zimmermann, 1996) son muy útiles por su simplicidad conceptual y computacional.

Rinks (1981) detecta un vacío entre la teoría de la planificación agregada y la práctica y desarrolla algoritmos *fuzzy* para planificación agregada. La robustez del modelo *fuzzy* de planificación agregada bajo estructuras de costes variables es examinada en Rinks (1982a). Un conjunto detallado de reglas para la mano de obra y ratios de producción se encuentran en Rinks (1982b). Turksen (1988a, 1988b) modifica el modelo de Rinks obteniendo resultados robustos. Ward y otros (1992) desarrollan un programa en el lenguaje C basado sobre el

modelo de planificación agregada de Rinks. Gen y otros (1992) presentan un modelo *fuzzy* de planificación agregada de múltiples objetivos.

Guiffrida y Nagi (1998) realizan un estudio extensivo sobre la aplicación de la teoría de conjuntos difusos en el área de la gestión de la producción. Guiffrida y Nagi describen la investigación sobre *fuzzy sets* que ha sido publicada a lo largo de los últimos 15 años en las áreas de programación de proyectos, distribución en planta y previsión. Los autores muestran el gran crecimiento experimentado en los últimos años en la aplicación de *fuzzy sets* en las áreas de gestión de la calidad, previsión y secuenciación. Sin embargo, resaltan que existe mínima investigación en lo referente a la planificación de la producción agregada.

Petrovic y otros (1998) describen la modelación y simulación mediante conjuntos difusos de una cadena de suministro en serie en un entorno de incertidumbre. El objetivo es determinar los niveles de stock y cantidades a ordenar durante un horizonte de tiempo finito, para un nivel de servicio aceptable y a un coste razonable. Posteriormente, Petrovic (2001) presenta una herramienta de simulación, SCSIM, desarrollada para analizar el comportamiento y funcionamiento de la cadena de suministro en presencia de incertidumbre utilizando conjuntos difusos. Los conjuntos difusos se utilizan para describir las imprecisiones de la información, pero cuando el problema progresa con la adquisición de datos reales, se pueden empezar a modelar estos valores con distribuciones de probabilidad y frecuencias relativas. De esta forma, la demanda de los clientes, el nivel de desempeño del proveedor externo, y los tiempos de ciclo de producción se convierten en variables *fuzzy*, que son asociadas con distribuciones de probabilidad de una forma similar a las variables aleatorias.

2.3 Programación Dinámica (PD).

La PD es un enfoque para la modelación, análisis y resolución de problemas de decisión dinámicos tanto en entornos deterministas como estocásticos. La principal diferencia entre programación dinámica y estocástica está en la estructura utilizada para formular ambos modelos. En PD los conceptos de “estado del proceso” y “función valor” juegan un rol central, mientras que estos conceptos no son utilizados en programación estocástica (Kleywegt y Shapiro, 2000).

Garcia y Smith (2000) muestran la existencia de *forecast horizons* (Bès y Sethi, 1987) en el contexto de problemas de optimización dinámica para la planificación de la producción bajo demanda estocástica. La idea es que existen horizontes de planificación suficientemente amplios que aseguran la armonía de las decisiones de producción óptimas del primer período sin hacer caso a cambios en la demanda futura.

Hong y Shang (2001) desarrollan un modelo para la planificación y programación dinámica de la producción en un entorno de fabricación de hierro y acero. El modelo de optimización propuesto está basado sobre el concepto de entradas-salidas de Leontif (1966). El modelo desarrollado es apropiado para gestionar redes de cadenas de suministro descentralizadas o centralizadas, aunque los beneficios del modelo se aprecian mejor cuando los miembros de la red de fabricación juegan el rol de proveedor y consumidor simultáneamente.

2.4. Modelos de simulación.

Los modelos de simulación aunque pueden representar una gran variedad de problemas, no pueden ser usados efectivamente para optimizar un problema dado, sino más bien para evaluar una medida de desempeño.

Thompson y Davis (1990) y Thompson, Watanabe, y Davis (1993) presentan un enfoque integrado para considerar la incertidumbre en la planificación de la producción agregada. Formulan un modelo de programación lineal y la incertidumbre es incorporada utilizando el modelo de simulación de Monte Carlo.

Gravel y otros (1994) desarrollan un sistema de apoyo a la gestión para la planificación de la producción que utiliza una base de conocimiento obtenida de simulaciones del sistema de producción bajo condiciones que se varían de forma sistemática.

Albritton y otros (1999) presentan un modelo de planificación de la producción con incertidumbre en la demanda con dos variantes del muestreo de Monte Carlo y que denominan Optimización basada en Simulación.

2.5 Otros modelos y métodos.

Zapfel (1996) propone un modelo jerárquico que puede ser incorporado a un MRP II para programar la producción con incertidumbre en la demanda.

Para entornos de fabricación bajo pedido caracterizados por requerimientos únicos de productos muy complejos y tiempos de ciclos de producción largos e inciertos (armamento, aeronáutica, etc.), Hatchuel y otros (1997) muestran un nuevo enfoque denominado Enfoque de Anticipación Dinámica basado sobre una descomposición de dos etapas, la planificación y la secuenciación. La etapa de planificación utiliza un enfoque combinado MRP/PERT y la secuenciación es llevada a cabo utilizando una regla dinámica de prioridad.

Wu y Meixell (1998) analizan el comportamiento de la demanda en la gestión de la cadena de suministro de dos compañías, una del sector del automóvil y la otra del sector de la electrónica. En ambos entornos, la demanda se comunica a lo largo de la cadena de suministro a través de programas de producción enviados electrónicamente a los proveedores inmediatos, los cuales sufren frecuentes cambios. Wu y Meixell definen tres tipos posibles de amplificación de la demanda. Los resultados analíticos fueron testeados utilizando experimentos Monte Carlo.

Giebels y otros (1998) desarrollan un nuevo concepto de control para entornos de fabricación o ingeniería bajo pedido que culmina con la creación del EtoPlan (*Engineer-To-order Planning*) (Giebels, 2000). EtoPlan persigue la integración de las tareas de la planificación del proceso y la planificación de la producción. Un paso importante para lograrlo es la incorporación de la incertidumbre en la información que es comunicada entre varios planificadores en los niveles de planificación agregada. Los parámetros inciertos se modelan mediante distribuciones de probabilidad.

Donselaar y otros (2000) investigan cómo la información de la demanda utilizada influye en la estabilidad de la planificación de la cadena de suministro. Para este propósito, configuran un experimento de simulación utilizando información de un fabricante de camiones. El objetivo de la simulación es determinar el funcionamiento de los sistemas MRP y LRP (*Line Requirements Planning*) (Donselaar, 1992) medido por el nivel de servicio, niveles de inventario y “el nerviosismo” de la planificación. Una planificación “nerviosa” se refiere a un plan que sufre importantes variaciones al incorporar los cambios entre lo previsto y lo observado en sucesivas planificaciones (Sridharan y otros, 1987). Kadipasaoglu y Sridharan

(1995) afirman que el “nerviosismo” causado por la incertidumbre de la demanda, suministro o por los tamaños de lotes dinámicos, puede ser un obstáculo para la ejecución efectiva de los sistemas MRP. Estos autores estudian el efecto que tiene congelar el Programa Maestro de Producción o MPS (*Master Production Scheduling*) en el contexto de una planificación con horizonte rodante.

Modarres y otros (2000) proponen la Planificación de la Producción Controlada como un medio por el que los métodos *Just in Time* y el Control Estadístico del Proceso pueden ser aplicados conjuntamente para proveedores de corta ejecución, es decir, que producen bajos volúmenes de productos diversificados, en un entorno de incertidumbre de la demanda.

Wilhelm (2000) presenta un nuevo modelo, denominado Control Automático de la Producción basado sobre la teoría de control. El objetivo es desarrollar un control de retroalimentación para la planificación y control de la producción con variables de referencia y control basadas sobre objetivos logísticos. Este modelo ha sido probado en un proveedor del sector del automóvil.

3. Tecnologías de la Información (TI).

El actual soporte de las TI para la planificación de la producción permite manejar grandes cantidades de información. Sin embargo, el uso de las TI no ha satisfecho todas las expectativas.

Bajo el nombre de Sistemas Avanzados de Planificación varios desarrolladores de software, en el ámbito de los sistemas ERP, están integrando modelos y técnicas de investigación operativa en sus procedimientos de planificación y control. El grupo de modelos usado es todavía limitado, en particular los modelos estocásticos no están difundidos, pero existen indicadores de un próximo crecimiento (Zijm, 1999).

Valckenaers, Bongaerts y Wyns (1996) consideran que los sistemas biológicos y socio-económicos son más hábiles para adaptarse continuamente a las presiones de su entorno. Estos sistemas poseen cinco características que están ausentes en los actuales sistemas de planificación y que son importantes para obtener la habilidad para adaptarse al cambio. Estas cinco características son: múltiples jerarquías, respuesta rápida, entidades/agentes responsables, análisis cooperativo qué-pasa-si, y redundancia.

Chu y otros (2000) describen los objetivos del Consorcio para la Ejecución-Planificación Inteligente e Integrada de la Fabricación (CIIMPLEX). Algunos componentes del CIIMPLEX son: IBM, Ingersoll-Rand, Lucent, QAD, Berclain, Intercim, University of North Carolina at Charlotte, University of Maryland at Baltimore County and University of Florida. CIIMPLEX explora las tecnologías emergentes de los agentes de software e Internet. Los agentes de software son programas que ayudan al usuario a resolver problemas colaborando con otros agentes de software y recursos en la red. Los agentes de CIIMPLEX pueden trazar distribuciones de parámetros de planificación para caracterizar la incertidumbre de procesos. También pueden responder a preguntas qué-pasa-si a través de los denominados “Escenarios de empresa”.

4. Conclusiones y Líneas futuras de investigación.

Se han revisado un total de 100 referencias bibliográficas sobre planificación de la producción y planificación de la producción con incertidumbre en el ámbito de una empresa industrial y en el de una cadena de suministro. La mayoría de las referencias fueron encontradas en revistas científicas (55 %), actas de congresos, conferencias y otros (28 %), libros editados (14 %) y tesis publicadas (3%). Seis revistas científicas, *International Journal of Operations Research*, *Management Science*, *International Journal of Production Economics*, *Operations Research*, *Interfaces* y *European Journal of Operations Research*, contabilizan el 30 % del total de las referencias.

En resumen, el enfoque adoptado en la mayoría de los modelos estudiados es el de la programación estocástica, este enfoque se ha utilizado para todos los niveles de la planificación de la producción (estratégica, táctica y operativa) y además se ha aplicado a casos reales. Los modelos de conjuntos difusos siguen a los de programación estocástica, aunque se han utilizado en mayor número en el nivel operativo de la planificación. En el caso de la programación dinámica, se han encontrado pocos modelos y principalmente teóricos. Por último, completan la lista los modelos de simulación y otros enfoques puntuales.

A lo largo del estudio se han ido presentando algunas circunstancias que pueden representar líneas de investigación en el futuro. Se destacan brevemente las más importantes: Primero, el desarrollo de una herramienta de software estándar para modelar los problemas de programación estocástica en un contexto de planificación de la producción bajo incertidumbre. Segundo, la formulación de modelos *fuzzy* de planificación a nivel agregado. Tercero, la utilización de la programación dinámica para modelar problemas reales de planificación de la producción con incertidumbre. Finalmente, se detecta la necesidad de realizar más estudios del comportamiento de la cadena de suministro bajo la presencia de fuentes diferentes de incertidumbre.

Referencias

Albritton M., Shapiro A., Spearman M. (2000) Finite Capacity Production Planning with Random Demand and Limited Information. *School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332-0205, USA.*

Aquilano, N.J., Chase R.B. (1998) *Fundamentals of Operation Management*, 8th edition. *Irving McGraw-Hill, New York.*

Bellman, R. Y Zadeh, L. (1970) Decision making in a fuzzy environment., *Management science*, vol. 17, N° 4, pp.141-164.

Bès C. Y Sethi S. (1987) Concepts of Forecast and Decision Horizons: Applications to Dynamic Schocastic optimization problems, *Mathematics of Operations Research*, 13, pp. 295-310.

Chu B., Tolone W.J., Long J., Wihelm R., Peng Y., Finin T., Mathews M. (2000) Towards Intelligent Integrated Manufacturing Planning-Execution, *The International Journal of Agile Manufacturing*.

Dantzig G.B. (1955) Linear Programming under uncertainty, *Management Science*, vol. 1, N° 3 y 4, pp. 197-206.

- Darlington, J. And Moar, C. (1996) MRP rest in peace. *Management accounting (UK)*.
- Donselaar K.V. (1992) The use of MRP y LRP in a stochastic environment. *Production Planning and Control*, 3, 239-246.
- Donselaar K.V., Nieuwenhof J.V., Visschers J. (2000) The impact of material coordination concepts on planning stability in supply chains, *International Journal of Production Economics*, 68, 169-176.
- Eppen GD, Martin RK, Schrage L (1989) A Scenario Approach to Capacity Planning, *Operations Research*, vol. 37, N° 4.
- Escudero, LF, Kamesan P V, King AJ, Wets RJB, (1993) Production Planning via Scenario Modeling, *Annals of Operations Research*, 43, pp. 311-335.
- Escudero LF y Kamesan PV. (1993) MRP Modelling via Scenarios, *Optimization in Industry*, Ciriani T, Leachman R, John Wiley and Sons.
- García A., Smith R.L. (2000) Solving Nonstationary Infinite Horizon Dynamic Optimization Problems, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 244, N° 2, pp. 304-317.
- Gen M, Tsujimura Y, y Ida K. (1992) Method for solving multiobjective aggregate production planning problem with fuzzy parameters, *Computers and Industrial Engineering*, 23 (1-4), 117-120.
- Giebels, M.M.T. (2000) EtoPlan a Concept for Concurrent Manufacturing Planning and Control, *PhD Mark Giebels. University of Twente*.
- Giebels, M.M.T., Kals H.J.J., Zijm W.H.M. (1998) Dynamic manufacturing planning and control. *Production Engineering, Research and Development, Annals of the German Academic Society for Production Engineering V/2 Pages 107-110, Berlin*.
- Goldratt EM, Cox J. (1986) The Goal.
- Gravel M, Kiss L, Martel JM, y Price W. (1994) A DSS por production planning, *International Transactions in Operational Research*, vol. 1, N° 3, pp. 363-373.
- Guiffrida A.I., Nagi R. (1998) Fuzzy set Theory Applications in Production Management Research: A literature survey, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 9 (1), pp. 39-56.
- Hatchuel A., Saidi-Kabeche D., Sardas J.C. (1997) Towards a new planning and scheduling approach for multistage production systems, *International Journal of Production Research*, vol. 35, N° 3, 867-886.
- Hong L., Shang J. (2001) Integrated model for production planning in a large iron and steel manufacturing environment, *International Journal of production research*.
- Kadipasaoglu SN, Sridharan V (1995) Alternative approaches for reducing schedule instability in multi-stage manufacturing under demand uncertainty, *Journal of Operations Management*, 13, pp. 193-211.
- Karabuk S., Wu D. (1999) Coordinating strategic capacity planning in the semiconductor industry, *Technical report 99T-11, Department of IMSE, Lehigh University*.
- Kira D, Kusy M y Rakita, I (1997) A Stochastic Linear Programming Approach to

Hierarchical Production Planning, *Journal of the Operational Research Society*, 48, pp. 207-211.

Kleywegt A.J., Shapiro A. (2000) Stochastic Optimization, *School of Industrial and Systems engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, USA*.

Koutsoukis N.S., Dominguez-Ballesteros B., Lucas C.A., Mitra G. (2000) A Prototype Decision Support System for Strategic Planning under Uncertainty, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. 30 (7/8) pp. 640-660.

Lario F.C., Rodríguez A., García J.P., Escudero L.F. (2001) Análisis y definición de escenarios en programación estocástica para la gestión de la cadena de suministros en el sector del automóvil, *IV Congreso de Ingeniería de Organización, Sevilla*.

Leontief W. (1996) Input-Output Economics (New York: Oxford University Press).

Modarres B., Ansar A., Willis G. (2000) Controlled production planning for Just-In-Time short-run suppliers, *International Journal of Production Research*.

Mulvey J., Vanderbei R, Zenios S. (1995) Robust Optimization of large-Scale Systems, *Operations Research*, vol. 42, N° 2, pp. 264-281.

Orlicky, J. (1975) Material Requirements Planning, *McGraw Hill, London*.

Petrovic D. (2001) Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment, *International Journal of Production Economics*, 71, 429-438.

Petrovic D., Roy R., Petrovic R. (1998) Modelling and Simulation of a Supply Chain in an Uncertain Environment, *European Journal of Operational Research*, 109, 2, pp. 299-309.

Plossl GW, Wight OW (1967) Production and Inventory Control, *Prentice-Hall*.

Rinks DB (1981) A heuristic approach to aggregate production scheduling using linguistic variables. *Applied Systems and Cybernetics*, vol. VI, Lasker, GE, Pergamon Press: New York, pp.2877-2883.

Rinks DB (1982a) The performance of fuzzy algorithm models for aggregate planning under differing cost structures. *Fuzzy Information and Decision Processes*, Gupta, MM, y Sanchez E. North Holland, Amsterdam, 267-278.

Rinks DB (1982b) A heuristic approach to aggregate planning production scheduling using linguistic variables: methodology and application. *Fuzzy set and possibility theory*, Yager R, Pergamon Press, New York, 562-581.

Schonberger RJ (1980) Japanese Manufacturing Techniques, *Nine Hidden Lessons in Simplicity*.

Sen S., Hagle J.L. (1999) An Introductory Tutorial on Stochastic Linear Programming Models, *Interfaces* 29:(pp. 33-61).

Spearman, M.L., Hopp, W.J. (1996) Factory Physics, *Mc-Graw Hill, New York*.

Sridharan V, Berry W y Udayabhanu V. (1987) Freezing the Master Production Schedule Stability under Rolling Planning Horizons, *Management Science*, vol. 33, N° 9, pp. 1137-1149.

- Thompson SD, Watanabe DT, Davis WJ. (1993) A comparative study of aggregate production planning strategies under conditions of uncertainty and cyclic product demands. *International of Production Research*, vol. 31, n° 8, pp. 1957-1979.
- Thompson SD, David WJ (1990) An integrated approach for modeling uncertainty in aggregate production planning, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 20, n° 5, pp. 1000-1012.
- Turksen IB (1988a) Approximate reasoning for production planning, *Fuzzy sets and systems*, 26, (1),23-37.
- Turksen IB (1988b) An approximate reasoning framework for aggregate production planning, *Computer Integrated Manufacturing, NATO ASI SERIES*, vol. 49, Turksen IB, Springer-Verlag, Berlib, 243-266.
- Valckenaers P., Bongaerts L., Wyns J. (1996) Planning systems in the next century (II), *ASI-95 of NOE on ICIMS (Advanced Summer Institute'96 of the Network of Excellence in Intelligent Control and Integrated Manufacturing Systems)*, Toulouse, France.
- Valente P., Mitra G., Poojari C.A., Kyriakis T. (2001) Software Tools for Stochastic Programming: A Stochastic Programming Integrated Environment (SPInE), *Department of Mathematical Sciences, Brunei University, West London, UK*.
- Vollmann, T.E., Berry W.L., Whybark D.C. (1988) Manufacturing Planning and Control Systems. *Second Edition, Irwin, Homewood, Illinois*.
- Ward TL, Ralston PAS y Davis JA. (1992) Fuzzy logic control of aggregate production planning, *Computers and Industrial Engineering*, 23, (1-4),137-140.
- Wilhelm J. (2000) Controlling production dynamics-managing uncertainties with automatic production control *International Journal of Production Research*, vol. 38, n° 17, pp. 4235-4246.
- Wu S.D., Meixell M.J. (1998) Relating Demand Behavior and Production Policies in the Manufacturing Supply Chain, *IMSE Technical Report 98T-007*.
- Zapfel, Gunther (1996) Production Planning in the case of Uncertain Individual Demand. Extension for an MRP, *International Journal of Production Economics*, 46-47: 153-64.
- Zijm W.H.M. (2000) Towards Intelligent Manufacturing Planning and Control Systems, *OR Spektrum*, 22, 313-345.
- Zimmermann, H.J. (1996) Fuzzy Set Theory – and its Applications, 3rd Revised edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, MA.