

## Mejora de un Sistema de Producción por Proyectos basada en la metodología GRAI: un estudio empírico

Ander Errasti Opakua<sup>1</sup>, Raul Poler Escoto<sup>2</sup>, Jose Alberto Eguren<sup>1</sup>,  
Juan Ignacio Igartua<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Organización Industrial. Mondragon Unibertsitatea. Loramendi 4, Apt. 23. 20500 Mondragón (Gipuzkoa). aerrasti@eps.mondragon.edu, jaeguren@eps.mondragon.edu, jigartua@eps.mondragon.edu.

<sup>2</sup> Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de Producción. Ciudad Politécnica de la Innovación. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. rpoler@cigip.upv.es

### Resumen

*Las empresas tratan de sobrevivir en mercados saturados siendo más productivas y eficientes. En este contexto, es crucial gestionar toda la red de suministro para optimizar el rendimiento de manera global. El modelado empresarial de sistemas de decisión es un importante instrumento para afrontar dicha problemática. Este trabajo de investigación explora el método según el cual se podría realizar la integración de procesos internos y externos, soportado en las herramientas basadas en el Método GRAI, en aras a mejorar el rendimiento de sistemas de producción por proyectos (Engineer to Order). El método desarrollado se ha aplicado a una cadena de suministro de Bienes de Equipo, desde el punto de vista del fabricante principal o O.E.M. (Original Equipment Manufacturer). Las conclusiones principales son que la rejilla GRAI y la herramienta de simulación DGRAI son útiles para la mejora de cadenas de suministro de sistemas de producción por proyectos.*

**Palabras clave:** Producción por Proyectos, Metodología GRAI, Industria

### 1. Introducción

Las empresas sobreviven en mercados saturados tratando de ser más productivas y eficientes. En este contexto, la competencia no se entiende entre empresas de manera aislada, sino entre cadenas de suministro (Christopher y Towill, 2001). El diccionario APICS (Blackstone et al, 2004) describe la cadena de suministro como los procesos que permiten el flujo de materiales desde proveedores hasta el cliente pasando a través de los distintos agentes (proveedores, plantas de fabricación, almacenes,..). La Gestión de la Cadena de Suministro (Supply Chain Management) coordina e integra todas las actividades de planificación, suministro, producción y entrega. Por lo tanto, todo el flujo de materiales y información de la cadena de suministro (proveedores, plantas productivas, almacenes, clientes, etc.,...) debe ser vista con un enfoque sistémico.

El concepto de producción bajo pedido (Build to Order) contempla la posibilidad de que las actividades de valor añadido- aprovisionamientos, producción, montaje, distribución,..- son ejecutadas con pedidos en firme en vez de previsiones. De esta manera una cadena de suministro evita los riesgos asociados a la incertidumbre en las previsiones (Salvador et al, 2006). Algunos sistemas de producción bajo pedido tienen que personalizar el producto para cada cliente, por tanto es necesaria una etapa previa de ingeniería que se tiene que integrar con el resto de actividades del flujo de materiales. Estos sistemas de producción denominados como Ingeniería contra pedido (Engineer to Order) son habitualmente sistemas de producción por proyectos, donde el elemento de repetición es limitado, en otras palabras “Pequeño número de unidades de productos terminados- alta variabilidad de componentes y subconjuntos” (Slack et al, 2004). Los proveedores que suministran a este tipo de plantas, suministran componentes y

subconjuntos o variaciones de los mismos a la planta de producción o al punto de ensamblaje final.

Aunque las funciones internas de ingeniería, compras, producción y logística, así como los proveedores externos, se ven en la necesidad de coordinar los puntos de decisión y las acciones para garantizar una producción fluida, algunos autores (Caron et al, 1995) afirman que la falta de gestión logística y de la cadena de suministro en entornos por proyectos tiene un impacto negativo sobre el sistema de producción.

El modelado empresarial es una herramienta que ofrece un adecuado soporte para afrontar este tipo de problemas. Los modelos empresariales ayudan a realizar la reingeniería de procesos asociados a una empresa o una cadena de suministro. En las últimas décadas han emergido varias arquitecturas para el análisis y rediseño de sistemas empresariales, entre ellas destacan: CIMOSA, GIM (Doumeingts et al, 1993) y PERA. Uno de los subsistemas más complejos de una organización es el sistema de decisiones. La arquitectura GIM y, en particular, la metodología GRAI (Doumeingts, 1984) tiene por objeto dar soporte al análisis y rediseño de sistemas de decisión.

GIM parte de la construcción del modelo conceptual del sistema actual (etapa de análisis) y evoluciona hacia su conversión al modelo conceptual del futuro sistema (etapa de diseño). A continuación se identifican las especificaciones técnicas divididas en tres categorías del futuro sistema:

- a) Tecnologías de información (especificaciones de hardware y software)
- b) Tecnologías de fabricación (especificaciones de equipos y herramientas)
- c) Organización (sistema físico y estructura de gestión)

A nivel conceptual, el modelo GRAI está compuesto de tres sistemas: el sistema físico, el sistema de decisión y el sistema de información (Figura 1).

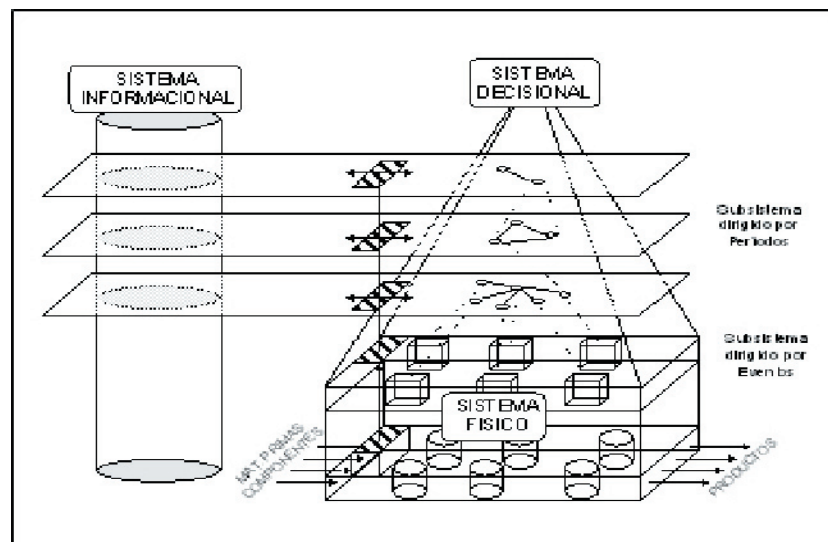


Figura 1: sistemas del modelo GRAI

El sistema de decisión está dividido en niveles de decisión. Por lo tanto, GRAI propone una estructura jerárquica para definir el sistema de decisión de una empresa. El formalismo de modelado utilizado para la representación de los centros de decisión es la Rejilla GRAI. Dichos centros de decisión se organizan en la rejilla según funciones y niveles temporales de decisión.

El modelo DGRAI (Poler et al., 2002) es una extensión del método GRAI, cuyo objetivo básico es la simulación de sistemas de decisión. DGRAI permite simular los procesos de decisión a capacidad finita de los recursos humanos involucrados en tareas de decisión (Poler and Lario, 2001). La simulación permite identificar los problemas asociados a la coordinación de las decisiones, los cuellos de botella en los agentes que deciden y el impacto de los retardos en la ejecución de actividades de toma de decisión.

## **2. Originalidad/Valor**

Pese a que algunos autores afirman que pocas compañías están actualmente comprometidas con una integración externa (Fawcett et al, 2002), especialmente cuando requiere de una colaboración estratégica, los autores de este trabajo de investigación afirman que el modelado GRAI puede ser útil para afrontar un proyecto de reingeniería para la integración de un sistema de producción por proyectos para la mejora del rendimiento de la cadena de suministro y que el modelado DGRAI permitiría simular el sistema de decisiones para validar el modelo de cómo debiera ser la futura cadena. Si bien hay experiencias de aplicación del modelado DGRAI a la industria de automoción y electrodomésticos (Errasti et al, 2006), no así en sistemas de producción por proyectos.

## **3. Propósito**

Por lo tanto, este trabajo explora el método de cómo debiera ser realizado el rediseño de los procesos logísticos operativos internos y externos, asistidos por la metodología de integración empresarial para la mejora del rendimiento de la cadena de suministro de un sistema de producción por proyectos.

Este trabajo de investigación también desarrolla un estudio de caso de una empresa de bienes de equipo desde el punto de vista del fabricante principal (O.E.M.) tratando de dar respuesta a las dificultades mencionadas arriba.

## **4. Metodología**

El trabajo de investigación se sustenta en los principios de la investigación en acción o action research (Westbrook, 1995). La investigación busca la aplicación de una teoría para el modelado de decisiones en una empresa de bienes de equipo y contrastar su utilidad a la luz de los resultados obtenidos.

## **5. Factores a considerar al implementar GRAI en una cadena de suministro**

El rediseño de un sistema de decisiones en una cadena de suministro supone importantes implicaciones en todas las áreas de la red. Por lo tanto, la decisión de acometer un proyecto de este tipo debe calificarse de estratégica.

Para el ágil desarrollo de la estrategia, son necesarias cuatro etapas (entradas, análisis, formulación de la estrategia, implementación de la estrategia y revisión de la misma) y para este propósito se pueden utilizar herramientas analíticas y de gestión.

Los autores de este trabajo utilizan este enfoque, simplificando el proceso y adaptándolo a la estrategia de operaciones del fabricante principal (O.E.M.).

El método tiene en cuenta la posición del fabricante principal (O.E.M.) en la Cadena de Valor y establece las etapas necesarias para la creación de valor. Se establece una etapa de diagnóstico

o entrada para analizar los factores. En esta etapa se utilizan la Rejilla GRAI y la simulación mediante DGRAI como herramientas analíticas que dan soporte al sistema actual y al diseño del futuro sistema. El diagnóstico contribuye a elegir el contenido de la estrategia, definir o formular una estrategia y monitorizar las ventajas/desventajas del futuro sistema de decisiones relacionado con las tecnologías de información (especificaciones de hardware y software), tecnologías de fabricación (especificaciones de equipos y herramientas) y organización (sistema físico y estructura de organización).

Posteriormente, se establece una etapa de despliegue de la estrategia formulada. El despliegue de la estrategia está basado en proyectos, donde se establece un proceso de monitorización y revisión de la estrategia para facilitar la alineación de la organización a la estrategia. En la Figura 2 se ilustra el método descrito.

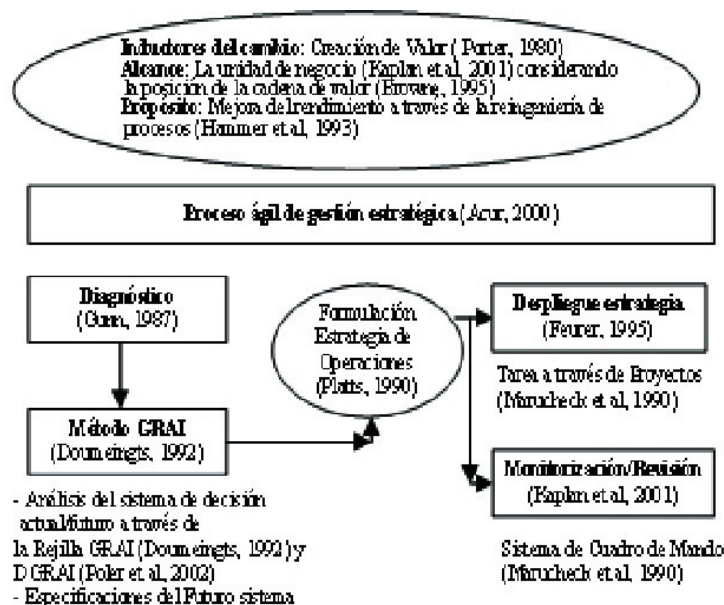


Figura 2. Representación esquemática del método y factores a considerar

## 6. Experimentación teoría: estudio empírico

El fabricante principal que lideró la mejora de la cadena de suministro, fue una unidad de negocio de elevación dedicada al diseño, fabricación y montaje de ascensores.

En la Figura 3 se describen las principales características de la cadena de suministro interna (almacén de componentes y planta de producción) y la cadena de suministro externa (distribuidores o clientes y red de proveedores).

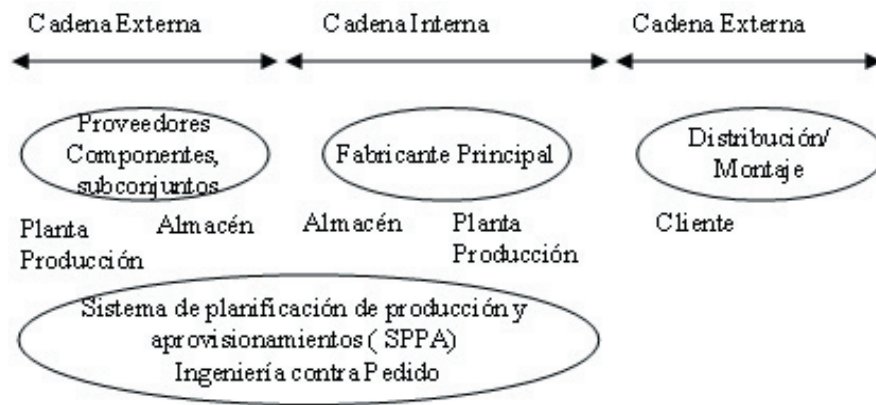


Figura 3. Cadena de suministro interna y externa considerada en el estudio de caso

El fabricante principal o O.E.M. fabricaba contra pedido mediante un sistema de planificación de producción y aprovisionamientos (SPPA) en base a fecha de entrega del ascensor en cliente. El proceso productivo está basado en los principios de producción en masa personalizada. Con este propósito tanto el producto, como el proceso tenían alta modularidad y comunalidad de ciertos componentes en las primeras etapas del proceso productivo (chasis, cabina, máquinas,..) y permitían una personalización, combinando diferentes partes y módulos en la etapa final del proceso (montaje). El fabricante principal tenía clasificados los proveedores en base a factores como el volumen logístico o peso por unidad suministrada, el número de referencias, la distancia del proveedor y el valor por unidad transportada. La Figura 4 muestra dicha clasificación.

CLASIFICACIÓN PROVEEDOR FACTORES	PROVEEDOR I.L.T. CERCANO VOLUMEN	PROVEEDOR I.L.T. CERCANO SUBCONJUNTOS	PROVEEDOR TRADICIONAL MAKE TO STOCK	PROVEEDOR TRADICIONAL MAKE TO ORDER
VOLUMEN LOGÍSTICO O PESO POR UNIDAD SUMINISTRADA	▲▲▲	▲▲	▲	▲▲
NÚMERO DE REFERENCIAS SUMINISTRADAS	▲	▲▲▲	▲	▲▲
DISTANCIA AL FABRICANTE PRINCIPAL (O.E.M.)	▲	▲	▲▲▲	▲▲
VALOR POR UNIDAD SUMINISTRADA	▲	▲▲▲	▲▲	▲▲

Figura 4. Clasificación de proveedores teniendo en cuenta los factores logísticos

El fabricante principal, cuya cadena de suministro era motivo de análisis, estaba tratando de conseguir una ventaja competitiva sostenible. Para este propósito, el equipo investigador facilitó esta labor asistido por el método desarrollado (Figura 2). En la fase diagnóstica para el análisis del sistema actual y el diseño del sistema futuro se utilizaron la rejilla GRAI y la simulación mediante DGRAI (Figura 5).

La estrategia de operaciones definida fue mejorar la Calidad de Servicio (reducir el plazo de entrega y cumplimentar en mayor porcentaje los pedidos realizados/entregados en fecha) a través del rediseño del Sistema de Planificación de Producción y Aprovisionamiento del fabricante y la red de proveedores, así como reducir el coste total de la cadena de suministro.

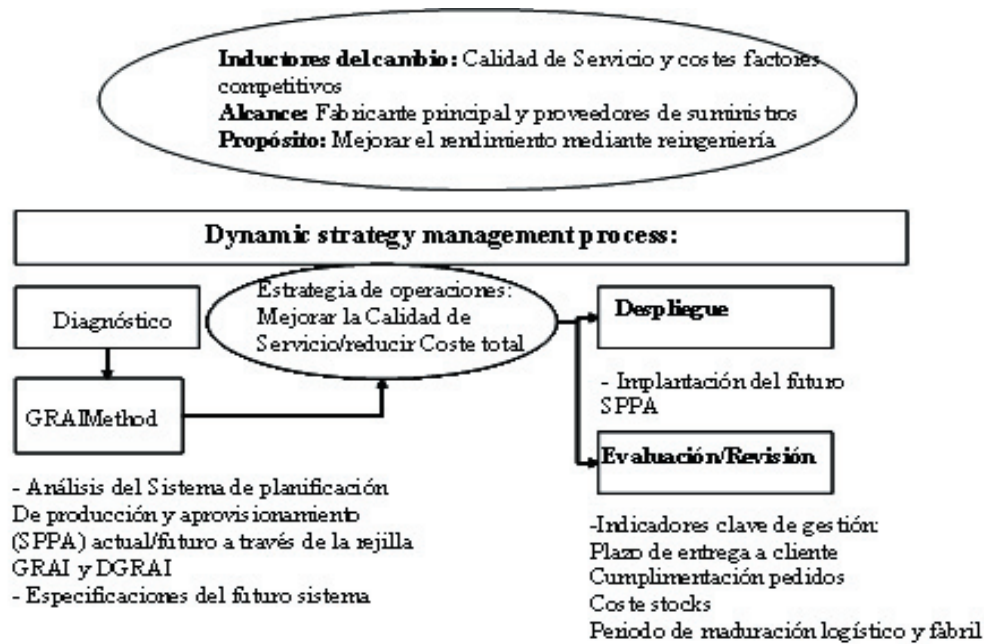


Figure 5. Representación esquemática de la metodología adaptada al caso

### 6.1. Análisis del sistema actual de la cadena de suministro (As Is) y diseño del futuro sistema (To BE)

Para el análisis del SPPA actual de la cadena de suministro interna y externa (As Is), se monitorizó el sistema de decisión empleando la rejilla GRAI. La rejilla GRAI mostró las principales características del sistema de decisión (niveles de decisión, centros de decisión, periodos de planificación, frecuencias de planificación, alternativas de decisión, información, etc.).

El SPPA trabajaba contra pedido en base a pedidos en firme. Este sistema se denominaba "S+5" debido a que los pedidos en la semana S de una demanda prevista se suministraban a la sexta semana denominada S+5:5. Por tanto el sistema de planificación tenía un periodo de una semana y un horizonte de planificación de seis semanas. Al monitorizar el sistema en la rejilla GRAI se identificó una limitación: el flujo de materiales total estaba limitado por el horizonte de planificación y el periodo de planificación a nivel de planificación maestra de la producción. Esto tenía un importante impacto en el periodo de maduración del sistema y consecuentemente en los stocks de componentes y producto semielaborado, para trabajar sin interrupción en los almacenes y plantas de producción de proveedores y el fabricante.

Por lo tanto, el análisis y el diseño del futuro SPPA se desarrollaron alrededor de la reducción del horizonte de planificación y el periodo de planificación de la planificación maestra de producción. En concreto se analizó el sistema de planificación "D+20:2" con un horizonte de planificación de 20 días y un periodo de planificación de dos días. Este nuevo SPPA podría traer a priori una reducción del plazo de entrega al cliente y una reducción del stock de componentes y productos semielaborados. Sin embargo, para analizar la fiabilidad del futuro sistema, se monitorizaron ciertos aspectos de tecnologías de información, tecnologías de fabricación y organización de la cadena de suministro interna y externa (Figura 6).

S+5:5 vs D+20:2	CADENA SUMINISTRO INTERNA	CADENA SUMINISTRO EXTERNA
TECNOLOGIAS DE INFORMACION	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de ordenes de fabricación en el fabricante principal</li> <li>• Generación y emisión de pedidos de aprovisionamientos a proveedores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción de pedidos de proveedores</li> </ul>
TECNOLOGIAS DE FABRICACION	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño de lotes de producción</li> <li>• Eficiencia cuellos de botella</li> <li>• Stock en curso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño de lotes de producción en proveedores</li> </ul>
ORGANIZACION	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema Pull de fabricación</li> <li>• Componentes y materiales almacenados en almacenes del fabricante principal</li> <li>• Tiempo de gestión del sistema de planificación producción y aprovisionamientos</li> <li>• Tiempo de gestión de los inventarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Componentes y materiales almacenados en almacenes de producto terminado de proveedores</li> <li>• Sistemas de suministro a cliente eficientes</li> </ul>

**Figura 6.** Tecnologías de la información, tecnologías de fabricación y factores de organización críticos que se tuvieron en cuenta al implementar el Sistema Futuro.

Para comparar el comportamiento dinámico de los sistemas actual y futuro se realizó una simulación de un año de duración mediante DGRAI. Se comparó la calidad de ambos sistemas y se analizaron los niveles de saturación de los equipos de gestión de planificación y aprovisionamiento. Las principales conclusiones obtenidas fueron:

- a) Desde el punto de vista de la coordinación del suministro, ambos sistemas eran correctos. La simulación no evidenció problemas en la sincronización entre la cadena de suministro interna y externa.
- b) En relación a la dedicación de recursos humanos al sistema, el sistema de planificación "D+20:2" necesitaba un recalcu cada dos días del Plan Maestro de Producción, frente al sistema de planificación S+5:5 que utilizaba un recalcu semanal. La simulación mostró que el "D+20:2" necesita un 40% más de horas de dedicación de los recursos humanos para la toma de decisiones que el "S+5:5".
- c) Referente a la evolución del indicador de la Calidad Total del Sistema de Decisión (TQDS), el sistema "D+20:2" era de media un 4% mejor comparando con "S+5:5".

## 6.2. Resultados en términos de efectividad

Los gestores de la unidad de negocio valoraron las ventajas y desventajas expuestas y decidieron implementar el nuevo SPPA. Después de tres años desde el comienzo del proceso de reingeniería las mejoras más destacables fueron:

- Una reducción de un 40% del plazo de entrega y de un 50% en el porcentaje de completar los pedidos.
- Una reducción de un 40% en el stock en curso
- Un 60% de reducción de stock en los proveedores de suministros de módulos en J.I.T.
- Un 20% de incremento de stock en proveedores contrapedido obligados a trabajar contra almacén
- Un 30% de reducción de stock en proveedores contraalmacén

## 7. Conclusiones

El equipo multidisciplinar involucrado en el proyecto de reingeniería ha valorado como muy útil el método planteado. A su vez ha identificado la potencial aplicabilidad de la rejilla GRAI y la simulación DGRAI como herramientas analíticas en entornos de producción por proyectos.

Como futuras líneas de investigación los autores de esta investigación sugieren el diseño de nuevos modelos basados en el Método GRAI para ayudar al desafío de las empresas en la reducción de los horizontes y periodos de planificación maestra de la producción en cadenas de suministro industriales.

## Referencias

- Acur, N.; Biticci, U. (2000). Active assessment of strategy performance in proceedings of the IFP WG 5.7, International Conference on Production Management, Tromso, Norway.
- Blackstone, J.; Cox, F. (2004). APICS Dictionary: 11<sup>th</sup> Edition, CFPIM, CIRM, Alexandria.
- Browne, J.; Sackett, P.J.; Wortmann, J.C. (1995). Future Manufacturing Systems-towards the extended enterprise, *Computers in Industry*, Vol.25, pp.235-254.
- Caron, F.; Fiore, A. (1995). Engineer to order companies: how to integrate manufacturing and innovative processes. *International Journal of Project Management*. Vol. 13, No.5.pp.313-319.
- Cox, A. (1999). Power, value and supply chain management, *Supply Chain Management: an international journal*, No.4/4, pp.167-175.
- Doumeings, G. (1984). Méthode GRAI: Méthode de conception des systèmes en productique, Thèse d'état : Automatique: Université de Bordeaux.
- Doumeings, G.; Vallespir, B.; Zanettin, M.; Chen, D. (1992). CIM: GRAI integrated methodology a methodology for designing CIM systems, GRAI/LAP, Université Bordeaux, Version 1.0.
- Errasti A.; Poler R.; Oyarbide A.; Santos J. (2006). Supply chain improvement based on GRAI Method: an empirical study. Proceedings of 13<sup>th</sup> Euroma International Conference, Glasgow, Great Britain
- Fawcett, S.; Mangan, G. (2002). The rhetoric and reality of supply chain integration, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol.32, No 5, pp.339-361.
- Feurer, R.; Chaharbaghi, K.; Wargin, J. (1995). Analysis of strategy formulation and implementation at Hewlet Packard, *Management Decision*, Vol.33, No.10, pp.4-16.
- Gunn, T.G. (1987). *Manufacturing for Competitive Advantage: Becoming a World Class Manufacturer*, Ballinger Publishing Company, Boston M.A.
- Kaplan, R.S.; Norton, D.P. (2001). *The Strategy Focused Organization*, Harvard Business School Press, Boston Massachusetts.
- Lummus, R.; Vovurka, R. (1999). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines, *Industrial Management and Data Systems* No.99/1, pp.11-17.



Marucheck, A.; Pannesi, R.; Anderson, C. (1990). An exploratory study of the manufacturing strategy in practice, *Journal of Operations Management*, Vol.9, No.1, pp.101-23.

Platts, K.W. (1990). Manufacturing audit in the process of strategy formulation, PhD dissertation, University of Cambridge, Cambridge.

Poler, R.; Lario, F.C. (2001). Simulation using the Dynamic Model of Decision Systems, *International Conference on industrial Engineering and Production Management (IEPM)*, Quebec IEEE Press, pp.1004-1012.

Poler, R.; Lario, F.C.; Doumeings, G. (2002). Dynamic Model of Decision Systems (DMDS), *Computers in Industry*, Vol.49, pp.175-193.

Porter, M.E. (1980). *Competitive Strategy: techniques for analyzing industries and competitors*, The Free Press.

Salvador, F.; Rungtusanatham, M.; Forza, C.; Trentin, A. (2005). Understanding synergies and trade-offs between volume flexibility and mix flexibility in Build-to-Order strategies. *Proceedings of 12<sup>th</sup> Euroma International Conference*, Budapest, Hungary

Slack, N.; Chambers, S.; Johnston, R.(2004). *Operations Management*. 4<sup>th</sup> ed., Pearson, London

Towill, D.R.; McCullen, P.L. (1999). The impact of agile manufacturing on supply chain dynamics, *The international journal of Logistics Management*, Vol.10, No.1, pp.83-96.

Westbrook, R. (1995). Action Research: a new paradigm for research in production and operations management, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol.15, No.12, pp.6-20.