

## **Una Propuesta para abordar un Proceso de Programación de la Producción Adaptativa en una Empresa que Fabrica contra Almacén**

**Pedro Gomez-Gasquet<sup>1</sup>, Francisco Cruz Lario Esteban<sup>1</sup> Carlos Andrés Romano<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigación de Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP). Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. pgomez@cigip.upv.es, fclario@cigip.upv.es

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Reingeniería, Organización, trabajo en Grupo y Logística Empresarial (ROGLE). Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. candres@omp.upv.es

### **Resumen**

*En este trabajo se presenta el problema asociado a la obtención de Programas Productivos que den respuesta a los escenarios cambiantes que se pueden originar en un entorno de fabricación contra almacén. En el trabajo fundamentalmente se identifica y se da forma a la estructura del problema, se propone una arquitectura para la solución, y se ofrece un enfoque metodológico enriquecido para afrontar la resolución del mismo. El objetivo básico de la solución que se propone es automatizar la Toma de decisiones en el proceso Programación de la Producción durante todo el ciclo de vida del programa.*

**Palabras clave:** Programación de la Producción, Incertidumbre, Predictivo-Reactiva

### **1. Introducción**

Una de las principales dificultades operativas de muchas empresas industriales es la correcta Programación de la Producción. Tradicionalmente, este problema ha sido abordado tratando de simplificar al máximo las condiciones reales. Sin embargo, estas simplificaciones proporcionan resultados poco alentadores, que suelen ir en sentido opuesto a los esfuerzos realizados en muchos sectores, que, en otros ámbitos de la gestión, asumen con cierta rapidez las condiciones variables y los cambios constantes del entorno, para incrementar su competitividad. Actualmente, un gran número de empresas demandan propuestas dentro del ámbito indicado que converjan respecto a la calidad de sus soluciones y a la aplicabilidad de las mismas.

Las nuevas tecnologías están provocando que muchos de los procesos que se realizan en las empresas sean redefinidos en su aspecto temporal, ya que éstas permiten acortar los tiempos de reacción. Y aunque este incremento en el dinamismo con el que se toman las decisiones también se refleja en los procesos del Sistema de Planificación y Control de Operaciones (SPCO), no es habitual que se refleje en la aplicación de los Programas Productivos. La gestión de estos no ha evolucionado al mismo ritmo que otras áreas. Tradicionalmente, las empresas suelen disponer de un Programa Productivo que difícilmente se adaptada en función de aquellos eventos que pueden distorsionar su ejecución.

En este trabajo se presenta un enfoque de la Programación de la Producción considerándola como un Proceso de Negocio que debe ser gestionado desde su inicio, la generación del programa, hasta su fin, incluyendo su revisión o adaptación si es necesario. Esta reorientación se ha centrado en el sistema productivo de las empresas del Sector Cerámico.

## **2. Descripción del Problema**

En este trabajo se propone el análisis del proceso de Programación de la Producción en un enfoque Make-to-Stock (MTO) tradicional para reformularlo de manera que éste se convierta en un proceso flexible que proporcione programas productivos realistas en función de los eventos que se identifiquen a lo largo del horizonte de programación. El objetivo es que a partir del conjunto de órdenes de fabricación generadas fundamentalmente en base al Plan Maestro de Producción (PMP), que gestiona el Planificador, y teniendo en cuenta los recursos disponibles en cada momento, el Programador pueda ir proponiendo alternativas que sean válidas para ambos decisores: Planificador y Programador.

Hay que tener en cuenta que cualquier decisión alcanzada por consenso, en definitiva equilibrada, puede verse afectada por cambios repentinos en el PMP, o por cambios en los recursos (máquinas no disponibles, etc.), o simplemente por las diferencias existentes entre los tiempos teóricos y los reales (tiempo de proceso, de cambio, etc.).

En un entorno real no suelen existir procedimientos ni herramientas que permitan una relación fluida entre el ámbito de la planificación y el de la programación, y suele existir una falta evidente de herramientas para abordar los procesos de cálculo de programas productivos adecuados a cada realidad.

Se ha identificado que en un gran número de empresas la relación entre el Planificador y Programador es escasa, y mal definida. El único vínculo formal y robusto que existe entre ambos es la comunicación unidireccional que tiene como origen al Planificador y destino al Programador, que no cuenta con retroalimentación, o ésta es débil o está poco formalizada.

A su vez, la distancia entre los problemas planteados por la comunidad científica y los que desean resolver los profesionales necesita ser reducida. Los problemas académicos se caracterizan por ser simplificaciones de la realidad en la cual los sistemas productivos, las condiciones de trabajo, las interrelaciones organizativas, o la propia aparición de eventos son considerados de forma parcial, o incluso ignorados. Por este motivo en muchos casos los procedimientos y las técnicas aplicadas a la Programación de la Producción en las empresas no han recibido el empuje que precisa.

En un entorno MTO no suele ser interesante afrontar el proceso de Programación de la Producción de forma totalmente dinámica, ya que es normal y útil disponer de planes o programas previos con los que poder tomar decisiones relativas a la capacidad, costes, etc. En este sentido es necesario encontrar una manera de abordar el problema, que permita disponer de esta información previa, pero que al mismo tiempo sea capaz de dar una respuesta adecuada, en caso de ocurrir algún evento que afecte al programa inicial.

Por lo tanto, el reto que se propone es el de orientar la Programación de la Producción en un entorno MTO hacia un proceso adaptativo que se pueda modelar, y a partir dicho modelo se pueda establecer una herramienta que permita automatizar la toma de decisiones de forma semi-dinámica.

## **3. Revisión de la Literatura**

Este trabajo se basa en el concepto de Programación Predictivo-Reactiva (Vieira et al., 2003) que proporciona un programa inicial que no intenta tener en cuenta ninguna distorsión, y

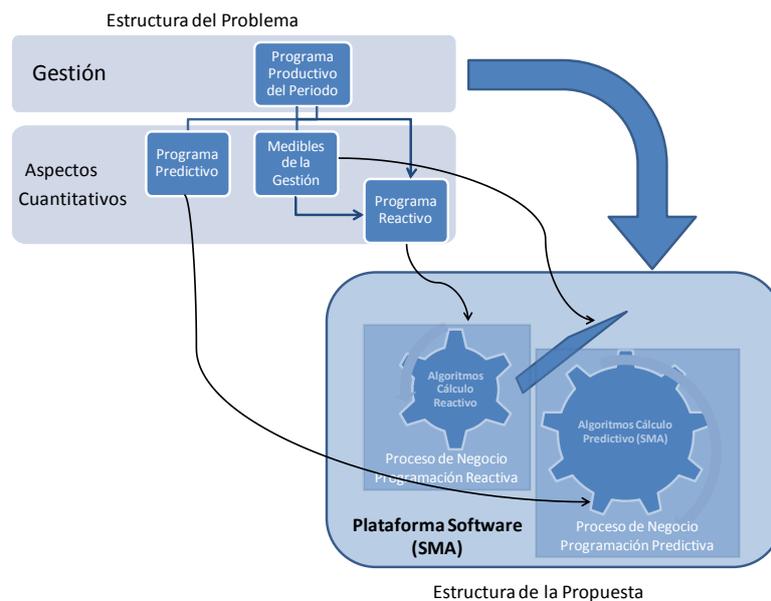
cuando esta se produce el Programa dispone de mecanismos para reaccionar, modificando el programa productivo en curso y generando uno nuevo, con una revisión parcial o total.

El enfoque predictivo-reactivo presenta aportaciones como las de Church y Uzsoy (1992), Muhlemann et al. (1982), Yamamoto y Nof (1985), y Church et al. (1992) que en general estudiaron el problema de la reprogramación en diversos tipos de talleres, y normalmente en un entorno dinámico en cuanto a la disponibilidad de los trabajos.

Se ha considerado interesante analizar la aplicación de enfoques basados en Agentes o Sistemas Multiagente. En un entorno dinámico, y con el objetivo de encontrar el mejor Programa Productivo posible Xue et al. (2001), Keskinocak et al. (2002), Dang y Frankovic (2020), Wang et al. (2003) y Furusho et al. (2008) presentan diferentes arquitecturas con Sistemas Multiagente con propósitos diferentes pero que no identifican un taller concreto, sino una planta genérica.

#### 4. Estructura del Problema y Propuesta de Resolución

Un vez revisada la literatura se pueden decir que el objetivo de esta trabajo debe ser el de plantear un Modelo que permita Automatizar, mediante el empleo de Sistemas Multiagente, la Programación Predictiva y Reactiva de la Producción, basada en una orientación de Procesos de Negocio que incluya Herramientas (Algoritmos) de Ayuda a la Toma de Decisiones bajo Incertidumbre, necesarios para resolver la visión funcional/decisional que contemple la existencia de eventos y su gestión, y que permita dar el primer paso hacia un Modelo Dinámico. Independientemente del objetivo global que se fije para dicho modelo será necesario disponer de un proceso de Programación Predictivo y otro Reactivo que dispondrán de funciones objetivas que potencien el objetivo global.



**Figura 5.** Relación entre la estructura del problema y la estructura de la propuesta de solución.

La estructura del problema identificado, consiste en un “nivel de gestión” que proporcionaría los resultados finalistas después de un proceso de balanceo de diversas opciones, y un “nivel cuantitativo” ligado al cálculo de Programas Productivos Predictivos o Reactivos que alimentan al nivel de gestión. En base a esta visión se ha decidido establecer un gran continente que denominaremos “Plataforma” que estará asociada al nivel de gestión. También

existirán, ubicados dentro de la Plataforma, una serie de algoritmos para el cálculo de los Programas Productivos. Esta asociación se representa gráficamente en la Figura 5 5.

El planteamiento realizado conecta con la necesidad de no simplificar el problema, tal y como se ha comentado en la introducción, sino al contrario, plantearlo como un proceso ligado a un indicador o medible que permita su gestión. Por este motivo se plantea el enfoque de Proceso de Negocio, que en base a las incidencias que modifican los valores del medible, aplica reglas o algoritmos que permiten reaccionar (Programación Reactiva) para adaptarse a las circunstancias.

Como se ve en la Figura 5 5 la Plataforma Software se corresponde con la herramienta/solución al nivel de gestión del problema identificado, mientras que los procesos de negocio de Programación Predictiva y Reactiva se corresponden con la solución/herramienta de nivel cuantitativo. También se puede observa en dicha figura como la plataforma será desarrollada empleando Tecnología de Agentes (Sistemas Multi Agentes, SMA) en la cual un conjunto de Agentes actuarán desempeñando diversos roles, fundamentalmente el de Programador y el del Planificador, con el objeto de llegar a realizar un proceso de Programación Colaborativo entre ambas partes. Los procesos de negocio de Programación Predictiva y Reactiva son parte de las actividades que los Agentes deben realizar (emplear) para alcanzar su objetivo. En este caso el proceso de Programación Predictiva también se ha planteado para ser desarrollado con Tecnología basada en Agentes.

#### **4.1. Estructura del Problema**

Un análisis global de la Programación de la Producción, según se ha planteado, nos permite determinar algunas cuestiones elementales, como son:

- La Programación de Producción debe entenderse como un proceso integrado dentro de la empresa, cuyas características fundamentales son:
  - Debe disponer de objetivos alineados con los intereses del conjunto de SPCO.
  - La “Planificación de la Producción” será uno de las actividades con las que mayor grado de integración debe existir, aunque no la única.
  - Debe de dar cobertura a la actividad Programación durante todo su ciclo de vida y no limitarse a ofrecer un programa inicial. Este requerimiento refuerza la visión Predictivo-Reactiva.
- Deben existir modelos, métodos y herramientas para abordar los cálculos asociados a la resolución de planteamientos cuantitativos, pero:
  - Deben estar integrados dentro del proceso de Programación como una herramienta de soporte a la Toma de Decisiones.
  - Deben dar respuesta o soporte a la visión Predictiva/ Reactiva propuesta.

Si se analiza la Figura 5 5 se puede apreciar como se ha establecido un nivel jerárquico en el cual se sitúa el nivel más alto denominado de “Gestión del Programa”, mientras se identifica un nivel dependiente del anterior denominado “Aspectos Cuantitativos”. Ambos niveles forman parte de la estructura del problema tal y como este se ha identificado.

## **4.2. Propuesta de Solución**

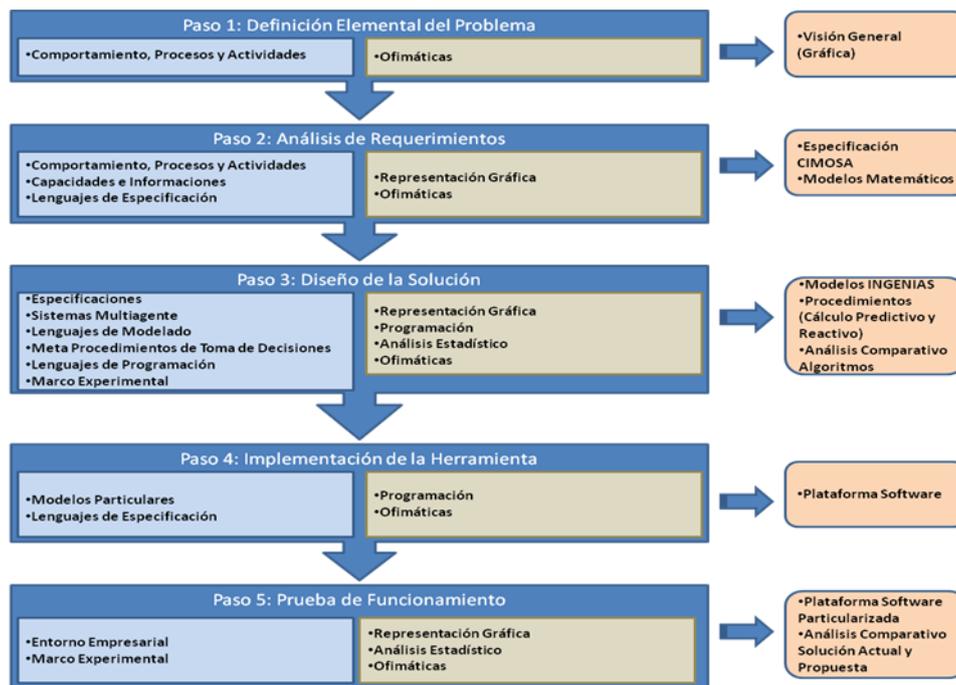
En relación con la estructura del problema identificado se ha propuesto una solución que aborda la resolución del problema mediante la definición de dos Procesos de Negocio coordinados entre sí: El Proceso de Negocio de Programación Predictiva y el Proceso de Negocio de Programación Reactiva.

La forma que se propone para garantizar la coordinación y la continuidad entre ambos procesos de negocio es el diseño e implementación de una Plataforma Software que se ha denominado IPSU-MAS (Integrated Platform for Scheduling under Uncertainty based on MAS). IPSU-MAS será la encargada de interactuar con el usuario para establecer un Programa que se ajuste a las necesidades previstas del Plan Maestro de Producción, así como para identificar posibles desviaciones de este programa inicial, y la activación en consecuencia de las actividades necesarias para la reprogramación, y consecuente ajuste a la nueva realidad, mediante un nuevo programa.

Se debe hacer notar como se determina que IPSU-MAS debe ser diseñada e implementada haciendo uso del enfoque de los Sistemas Multiagente, en base a los beneficios identificados tras la revisión del Estado de Arte.

## **5. Metodología, Arquitectura y Herramientas Empleadas en la Elaboración de la Propuesta**

Para el desarrollo de la Solución inicialmente se consideró simplemente la necesidad de formalizar el conjunto de pasos que se pretende realizar y de resultados que se espera obtener. Como consecuencia se abordaron aspectos metodológicos. Sin embargo, casi de inmediato, se detectó que la simple formalización de una metodología no era suficiente para alcanzar el objetivo, y que esta necesitaba ser enriquecida. Por ello, se tomó la decisión de que la formalización que se necesitaba se fundamentará en la aplicación de una aproximación que ya había dado buenos resultados en diferentes proyectos europeos (V-CHAIN, ECOSELL). Se trata de la aproximación M.A.T., cuyo acrónimo procede precisamente de la combinación de los 3 elementos que la caracterizan: Metodología, Arquitectura y Tecnología/Herramientas. Debido a su amplio enfoque M.A.T. cubre mejor las necesidades identificadas. En este caso se ha planteado una aproximación como la que se refleja en la Figura 6 6.



**Figura 6.** Aproximación M.A.T para la construcción de la Propuesta.

En la Figura 6 se indican los pasos de la Metodología, y dentro de estos, en el bloque situado a la izquierda se detallan los Elementos Arquitectónicos, y en el bloque situado a la derecha las Herramientas empleadas. También se indica que como consecuencia de cada paso se espera obtener unos resultados.

Como se puede ver en la Figura 6 se plantea una metodología con cinco pasos que abarca desde la definición del problema que se desea resolver (planteado en el apartado anterior) hasta la verificación de la validez de la propuesta mediante una prueba de funcionamiento con piloto, pasando por el Análisis, Diseño e Implementación de la propuesta.

Una visión más detallada permite observar lo siguiente:

- Paso 1: Se establece como elemento constructivo el comportamiento o funcionalidad esperado, y con el uso de sencillas herramientas ofimáticas (Word y Power Point básicamente) se obtienen un conjunto de esquemas mentales que dan forma general al problema.
- Paso 2: Mediante el empleo de sencillas herramientas se conjugan elementos como los comportamientos/funcionalidades más detallados, las capacidades o la información necesaria para afrontar un problema de Programación de la Producción como el Propuesto, y se elaboran con complejos modelos: Una plantilla CIMOSA de especificaciones y un modelo Matemático que abarcan tanto la visión Predictiva como la Reactiva.
- Paso 3: En el se establece como objetivo la obtención de un diseño que permita implementar la plataforma IPSU-MAS. Dicho modelo se ha elaborado usando la metodología INGENIAS, ver Pavón y Gómez (2003), y básicamente a partir de elementos arquitectónicos previamente descritos en Gomez (2010). En este paso se desarrollan los algoritmos de cálculo vinculado al aspecto cuantitativo identificado en

la estructura del problema, para lo cual también se emplea el Diseño de Experimentos.

- Paso 4: A partir de Herramientas complejas, fundamentalmente de programación de software, y de los elementos construidos anteriormente (modelos INGENIAS) se elabora un producto software: La plataforma IPSU-MAS.
- Paso 5: Tiene como objetivo verificar la validez de la propuesta en términos de eficiencia y eficacia, y se basa en operar con herramientas de Diseño de Experimentos sobre la Plataforma IPSU-MAS como elemento constructivo principal con diversos escenarios.

## 6. Resultados Alcanzados

Los resultados alcanzados son múltiples, aunque se debe destacar a la Plataforma Software IPSU-MAS, ver Figura 7, como producto que puede ser empleado para la Toma de Decisiones en relación a la Programación de la Producción Predictiva-Reactiva. IPSU-MAS debe ser parametrizado para su adaptación a las características elementales de cada empresa en el proceso de programación.

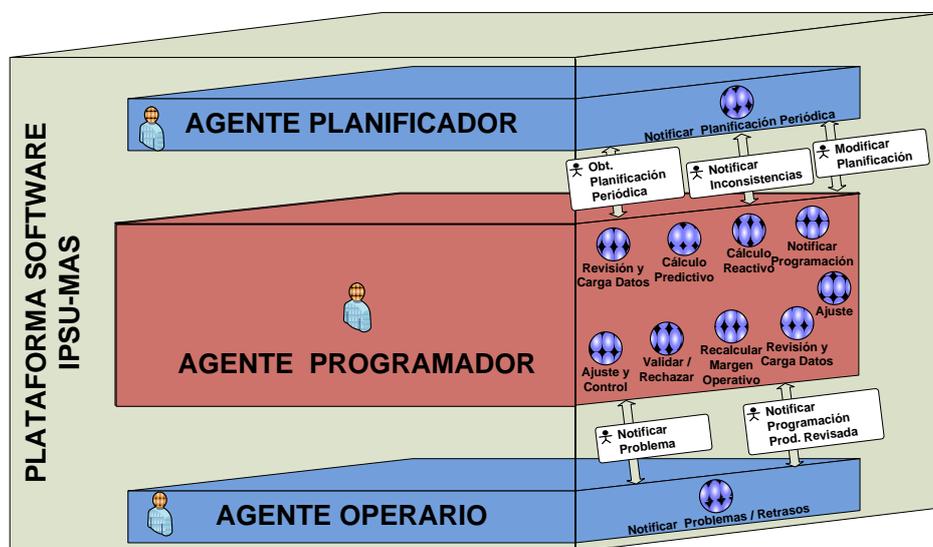


Figura 7. Visión de los componentes fundamentales de la Plataforma IPSU-MAS.

Otros resultados obtenidos, son los elementos que de forma parcial han servido para llegar a la solución o que son parte de la misma con un cometido muy concreto. Entre estos se puede destacar: El Modelo de especificaciones CIMOSA que define con concreción la funcionalidad, las Capacidades o habilidades y el tipo de Información que forman parte de los requerimientos, y que por lo tanto definen junto con los modelos matemáticos la solución del problema identificado. Este conjunto de modelos puede ser empleado para construir nuevas y diferentes soluciones.

También son destacables los Algoritmos que forman parte del nivel cuantitativo y que sirven para calcular los Programas Predictivos y Reactivos. Aunque en esta comunicación, no se deseaba profundizar en el aspecto cuantitativo, si es interesante destacar que como consecuencia del paso 3 se ha desarrollado un Algoritmo denominado SMAGA y otros denominado SSDS. SMAGA (Scheduling Multi-Agent Genetic Algorithm) se emplea en el

caso de Programación Predictiva con el objetivo de minimizar el makespan. SSDS (Same Sequence Different Scheduling) se emplea en el caso de Programación Reactiva con el objetivo de minimizar una función mixta que incluya el makespan y una penalización para los ciertos trabajos que se adelanten excesivamente en relación a la fecha prevista de inicio de sus operaciones.

## 7. Conclusión

A partir de una realidad industrial se ha redefinido un problema Programación de la Producción complejo, con una estructura mixta, cualitativa o de gestión y cuantitativa, y definido un tipo de solución basada en la utilización de Procesos de Negocio que se constituyen en la base para la toma de decisiones. Para poder conseguir el objetivo se ha definido una Metodología, unos Elementos Arquitectónicos y unas Herramientas adecuadas. Para poder emplear dicha propuesta en entornos reales se ha planteado que como parte de la solución se debe implementar una Herramienta que permita automatizar el proceso de Programación de Producción y facilitar su empleo en un entorno cambiante.

## Referencias

- Abumaizar, R.J. & Svestka, J.A. 1997. Rescheduling job shop under random disruptions. *International Journal of Production Research*, Vol. 35, nº7, 2065-2082.
- Church, L. K. & Uzsoy, R. 1992. Analysis of Periodic and Event-Driven Rescheduling Policies in Dynamic Shops. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 5(3): 153-163.
- Dang, T. T. & Frankovic, B. 2002. Agent-based scheduling in production systems. *International Journal of Production Research*, 40(15): 3669-3679.
- Furusho, T., Nishi, T., & Konishi, M. 2008. Distributed optimization method for simultaneous production scheduling and transportation routing in semiconductor fabrication bays. *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, 4(3): 559-575.
- Gómez, P. 2010. Programación de la producción en un taller de flujo híbrido sujeto a incertidumbre: arquitectura y algoritmos. Aplicación a la industria cerámica, Tesis Doctoral, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, accesible desde <http://hdl.handle.net/10251/7728>.
- Keskinocak, P., Wu, F., Goodwin, R., Murthy, S., Akkiraju, R., Kumaran, S., & Derebail, A. 2002. Scheduling solutions for the paper industry. *Operations Research*, 50(2): 249-259.
- Muhlemann, A. P., Lockett, A. G., & Farn, C. K. 1982. Job Shop Scheduling Heuristics and Frequency of Scheduling. *International Journal of Production Research*, 20(2): 227-241.

Pavón, J. & Gómez, J. (2003). Agent Oriented Software Engineering with INGENIAS. Multi-Agent Systems and Applications II, LNAI 2691 394–403.

Vieira, G. E., Herrmann, J. W., & Lin, E. 2003. Rescheduling manufacturing systems: A framework of strategies, policies, and methods. *Journal of Scheduling*, 6(1): 39-62.

Xue, D., Sun, J., & Norrie, D. H. 2001. An intelligent optimal production scheduling approach using constraint-based search and agent-based collaboration. *Computers in Industry*, 46(2): 209-231.

Wang, Y. H., Yin, C. W., & Zhang, Y. 2003. A multi-agent and distributed ruler based approach to production scheduling of agile manufacturing systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 16(2): 81-92.

Yamamoto, M. & Nof, S. Y. 1985. Scheduling Rescheduling in the Manufacturing Operating System Environment. *International Journal of Production Research*, 23(4): 705-722.