

Desarrollo de Sistemas Multiagente para el Problema Dinámico de la Programación de Producción y Control de Procesos en Línea en la Industria Cerámica *

Pedro Gómez Gasquet¹, José Pedro García Sabater¹, Carlos Andrés Romano¹

¹ Centro de Investigación de Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP) de la Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n Valencia. pgomez@cigip.upv.es, jpgarcia@cigip.upv.es, candres@cigip.upv.es

Resumen

La programación de la producción en el sector cerámico se ha caracterizado por el uso de técnicas estáticas utilizadas para realizar programaciones predictivas con el objeto de disponer una guía general de actuación. En la actualizada esta simplificación de la realizada ya no es válida en todos los casos, debido a que no contempla la problemática asociada al dinamismo inherente al mundo de los procesos productivos. Eventos como fallos en las máquinas, variación de los tiempos de proceso o de cambio de partida previstos o llegada continua de trabajos provocan cambios en los programas que no reciben el soporte de un sistema que ayude a seleccionar una opción factible que se ajuste a las necesidades de la planta en cada instante. Estas perturbaciones influyen de manera notable no sólo en el programa de fabricación sino en la fiabilidad del plan maestro y por lo tanto en la calidad en la atención al cliente, a través del cumplimiento de las fechas de entrega de los pedidos. La solución que se propone en este trabajo cubre las incidencias producidas por diversos eventos mediante un sistema de Programación de la Producción basado en tecnología de Sistemas Multiagentes (SMA) con un enfoque dinámico del problema. En este trabajo se basa en el proyecto Agentflow del que se presenta una propuesta modular de un sistema de programación y se realiza una breve introducción al análisis y diseño del sistema propuesto.

Palabras clave: Programación de la producción, Sistema Multiagente.

1. Introducción

Este trabajo se basa en la propuesta realizada en el proyecto Agentflow para afrontar el problema de programación de la producción y el control de procesos en línea en el entorno de la cadena de suministro del sector cerámico, mediante una aproximación realista. Aunque el proyecto presenta una visión de cadena de suministro con el objetivo global de mejorar el servicio al cliente, este trabajo se centra en la presentación detallada del problema de la programación de la producción.

Tradicionalmente, el problema de programación de la producción se ha modelado intentando simplificar al máximo las condiciones de entorno, y con funciones objetivos poco ajustadas a los intereses industriales. Sin embargo, este trabajo se aproxima a una

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por la Generalitat Valenciana con referencia GV04A-543, con acrónimo "Agentflow".

realidad mucho más compleja, tanto desde el punto de vista del entorno (requisitos y restricciones), como desde el punto de vista de los objetivos.

Para alcanzar los objetivos establecidos en el proyecto se propone el uso del paradigma de agentes, ya que los mismos proporcionan de forma natural las características de escalabilidad y agilidad requeridas en los sistemas de fabricación como el contemplado en el presente proyecto.

En este trabajo se realizará una presentación del problema que se quiere abordar, se realizará una breve revisión literaria sobre los enfoques dinámicos y con incertidumbre, se realizará una aproximación a los SMA y sus ventajas para el problema que se aborda, se presentará una propuesta modular un sistema de programación definido en el proyecto Agentflow, se realizará una breve introducción al análisis y diseño del sistema propuesto, y finalmente se presentarán las conclusiones.

2. Descripción del Problema

El subsistema productivo de la industria cerámica se puede identificar como un taller de trabajo híbrido con tiempos de cambio de partida dependientes de la secuencia, Andrés (2001), en el que existen tres etapas bien definidas. La etapa de presas y esmaltado, la etapa de hornos y la etapa de clasificación y embalado.

La gestión de la producción en un taller cerámico es un proceso claramente afectado por la incertidumbre en los términos establecidos por Galbraith (1973). Esta incertidumbre procede tanto del entorno como del propio sistema, es decir procede de los dos grupos establecidos por Ho (1989).

La incertidumbre del entorno que afecta al proceso productivo en la industria cerámica es fundamentalmente la debida a la demanda, que está relacionada con la incertidumbre en los pedidos de los clientes y/o previsiones.

La incertidumbre del sistema está relacionada directamente con el proceso productivo, y entre las que afectan de forma singular a la producción de baldosas cerámicas destacan: variaciones en la calidad del producto, variaciones en los tiempos de entrega (tiempos de proceso y tiempos de cambio de partida). Existen otras incertidumbres comunes con otros procesos como: Averías del equipamiento, variación de los recursos, etc.

Como consecuencia de los impactos causados por la incertidumbre del entorno y/o del sistema, el coste total de la fabricación se incrementa. Murthy y Ma (1991) enumeraron algunas de las causas de dicho incremento de coste, entre las cuales se destacan por su relación con el caso de las empresas cerámicas las siguientes: Pedidos no servidos, inventarios excesivos o insuficientes.

La incertidumbre, especialmente las debidas a la singularidad del entorno y del sistema productivo objeto de estudio, es decir, las producidas por la variación de la demanda, de las calidades del producto, o de los tiempos de proceso (ver Figura 1), han condicionado la organización y la gestión de la producción en la industria cerámica. Como consecuencia de dichas condiciones dos características se han puesto de manifiesto: *Incremento de inventarios y diferenciación del proceso en etapas*. Ambas persiguen un

mismo objetivo: mejorar el servicio al cliente, como factor clave en la actual industria cerámica española.

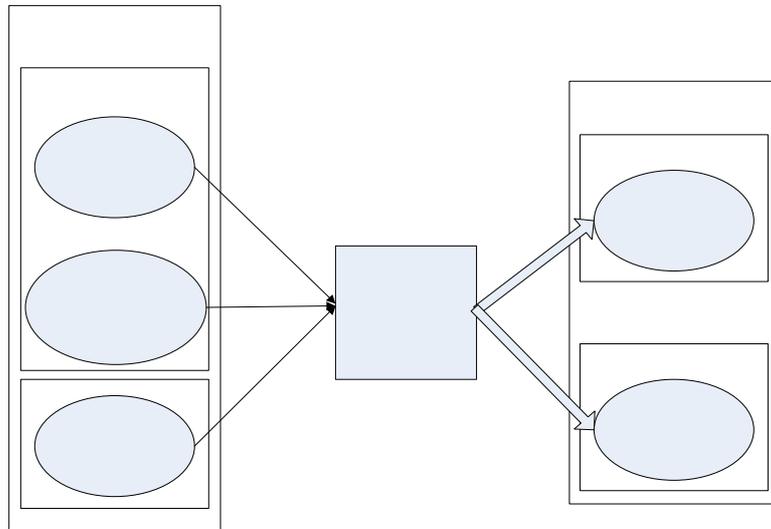


Figura 1. Relación de causas y efectos de la incertidumbre en el sistema productivo de las empresas cerámicas (Elaboración propia).

Las empresas soportan grandes cantidades de stocks de producto final e intermedio. Con esta política se intentan minimizar el impacto de las incertidumbres propias del fabricante en el cliente final, mediante el *incremento de disponibilidad* de producto final.

Con el fin de establecer estrategias de gestión que proporcionen *mayor agilidad*, y que permitan paliar parte de la incertidumbre, se ha ido descomponiendo el proceso productivo en múltiples etapas. Esta división se revelará como clave en el proceso de evaluación de las ventajas/inconvenientes de aplicar un SMA como solución al problema.

Por lo comentado anteriormente se considera fundamental detectar algunas de las incertidumbres con el objeto de corregir sus efectos. Los fallos de las máquinas, la variación de los tiempos de proceso, los tiempos de cambio de partida, y la llegada de trabajos durante la ejecución de un programa son los eventos que se consideran que determinan la calidad del programa en curso (eficiencia y estabilidad).

3. Revisión del Estado del Arte

En este apartado se realiza una breve revisión literaria de los conceptos relacionados con la incertidumbre y el enfoque dinámico en el modelado de problemas de programación de la producción, y las posibles estrategias para afrontar el problema.

En Vieira *et al.* (2003) se identifican un conjunto de eventos que producen incertidumbre en un sistema productivo y que tienen un impacto considerable sobre los programas de producción en curso. No obstante, no se debe considerar la causa como único o principal criterio de clasificación de la incertidumbre. En Li *et al.* (1993); Aytug *et al.* (2005); Henning y Cerda (1995) se estableció una taxonomía para el análisis de los problemas con incertidumbre relacionada con el sistema productivo basada en cuatro dimensiones clave. Estas cuatro dimensiones para el análisis son: causa, contexto,

CAUSAS SING
LA INCERTI
Incetidumbre
Proceso Qu
Mecáni
(Ámbito
Programa
Tiempos de C
Partida Dep
de la Secu
(Ámbito
Programa
Incetidumbre
Demanda
Clientes/Pre
(Ámbito

impacto e inclusión. Un procedimiento de programación en un contexto de incertidumbre debe definir el alcance adecuado en cada una de las cuatro dimensiones que le permita cubrir los objetivos propuestos.

Los problemas de programación de la producción, que inicialmente se solían plantear en base a un modelo determinista, con el tiempo se han ido desarrollando otros enfoques que pretenden modelar más fielmente la incertidumbre que caracteriza a este tipo de sistemas Pinedo (1995). En estos modelos estocásticos, se asume que los datos del cada trabajo (tiempos de proceso, fechas de lanzamiento o fechas de entrega) pueden no conocerse con exactitud, sino que se conoce una distribución probabilística de los mismos. Sólo después de ejecutarse el evento se conoce su valor exacto.

La incertidumbre se ha tratado en entornos dinámicos y estáticos. Sin embargo, el interés de esta propuesta se centra en el caso dinámico. Se considerará que un problema es dinámico, si el horizonte de funcionamiento del taller es ilimitado hacia el futuro, aunque el conocimiento concreto en un instante determinado se limite a la situación actual, y a una cartera de piezas finita a realizar. En el taller dinámico no se puede hallar un programa único, sino un conjunto de programas sucesivos desarrollados a lo largo de ciclos de reprogramación. Por tanto, no podrá juzgarse la calidad de un programa sino, en todo caso, la de un procedimiento de reprogramación, y la naturaleza del criterio que permita juzgar la calidad del procedimiento. Este procedimiento estará entroncado con el comportamiento medio de los programas obtenidos utilizándolo frente a las entradas (características de llegada y estructura de las piezas) a que es sometido.

Vieira *et al.* (2003) justifica la no existencia de clasificaciones adecuadas en un entorno de dinámico frente a la existencia clasificaciones en un entorno estático como la de Herrmann *et al.* (1993). En se realiza una diferenciación del problema dinámico-estático de la siguiente forma:

- Estático: Entendiendo por tal, el caso en el que existen un conjunto de trabajos finitos durante un periodo finito.
 - Determinista: No se contemplan incertidumbres en el modelo.
 - Estocástico: Existen cierta variables aleatorias en el modelo. Algunas referencias interesantes se encuentran en Wu *et al.* (1999);Daniels y Kouvelis (1995);Herrmann (1999);Pinedo y Chao (1999)
- Dinámico: Entendiendo por tal, el caso en el que existen un conjunto de trabajos infinitos.
 - Sin variación en las llegadas de trabajos: Se conoce el momento de entrada en el taller de cada trabajo. Los trabajos siguen un comportamiento cíclico hasta el infinito. Algunas referencias interesantes se encuentran en Matsuo (1990);Roundy (1992);Kamoun y Sriskandarajah (1993);Hall y Sriskandarajah (1996);Lee y Posner (1997).
 - Con variación en la llegada de los trabajos: Existen incertidumbre sobre en momento de entrada en el taller de los trabajos, pero las operaciones requeridas son conocidas. Algunas referencias interesantes se encuentran en Mehta y Uzsoy (1998);Markowitz y Wein (2001)

- Con variación en el flujo de trabajo: Los trabajos pueden sufrir cambios en la ruta prevista cuando llegan al taller. Algunas referencias interesantes se encuentran en Church y Uzsoy (1992).

En Vieira *et al.* (2000); Abumaizar y Svestka (1997) ya se proponía la misma diferenciación entre dinámica y estática. La visión dinámica basada en la existencia de un conjunto de trabajos que van llegando al taller también está avalada por Fang y Xi (1997).

Finalmente, en este apartado se presentan las diferentes estrategias que un programador puede adoptar frente a un problema de programación de la producción en un entorno dinámico y estocástico.

<i>Autores</i>	<i>Estrategia En Línea</i>	<i>Estrategia Mixta</i>
Vieira <i>et al.</i> (2000)	- En línea	- Reactiva
Vieira <i>et al.</i> (2003)	- Dinámica (reactiva)	- Predictivo- reactiva
Mehta y Uzsoy (1999) O'Donovan <i>et al.</i> (1999)	- Completamente reactiva	- Predictivo-reactiva - Robusta - Basada en el conocimiento
Shafaei y Brunn (1999a); Shafaei y Brunn (1999b)	- Teoría de colas	- Reprogramación - Predictivo-robusto
Raheja y Subramaniam (2002)	- Completamente reactiva	- Reactiva
Ouelhadj (2003)	- En línea	- Predictivo-reactiva - Robusta
Aytug <i>et al.</i> (2005)	- Completamente reactiva	- Predictivo-reactiva

Tabla 1 Resumen de las principales estrategias de programación de la producción en un entorno dinámico.

En la *Tabla 1* se resumen las estrategias seguidas en la literatura en la que se diferencian dos opciones principales para enfocar la programación de la producción en un entorno dinámico: La programación en línea o dinámica, dominada por las reglas de despacho, y la programación mixta basada en un plan previo que se va modificando según se hacen patentes las distorsiones. En la programación de la producción mixta existe una base común que es la denominada estrategia predictivo-reactiva, a partir de la cual se distinguen dos mejoras importantes: la programación robusta y la programación basada en el conocimiento.

4. Ventajas del Sistema Multiagente aplicado al Taller Cerámico.

Para resolver el problema de la programación de producción y control de procesos en línea en este tipo de industrias se empleará el paradigma de sistemas multiagente. De esta forma, el principal resultado del proyecto es una aplicación basada en Sistemas Multiagente (SMA) (Wooldridge y Jennings (1995), Sycara (1998)) para resolver el problema identificado. Diferentes aproximaciones al problema de programación desde la perspectiva del paradigma de agentes se pueden encontrar en Shen y Norrie (1999). Las ventajas de SMA son:

- Las diversas etapas del proceso de fabricación de pavimento/revestimiento cerámico, tiene características lógicas y productivas diferentes, implicando un conjunto de procesos diferentes. Las etapas tienen diferentes restricciones y podrían utilizar diferentes modelos y métodos para la resolución de sus problemas de secuenciación. Los sistemas distribuidos y autónomos, aunque coordinados, parecen más apropiados que los sistemas centralizados y complejos que no reflejan las particularidades de cada etapa.
- La propuesta de un SMA supone la existencia de un conjunto de agentes heterogéneos que se integran optimizando programas con objetivos diferentes relacionados con proceso diferentes. Dichos agentes son capaces de percibir los cambios en el entorno y se adaptan produciendo cambios en su comunidad para alcanzar los objetivos establecidos. Su autonomía les permite realizar tareas encaminadas a alcanzar objetivos locales. La cooperación entre los agentes posibilita la coordinación del sistema para alcanzar los objetivos globales, permitiendo a su vez la flexibilidad necesaria para adaptarse a los cambios.
- Los SMA proporcionan las bases para la creación de una arquitectura que posibilita la reducción de complejidad, la flexibilidad, la escalabilidad y la tolerancia a fallos.
- Un sistema de planificación/programación autónomo y distribuido basado en SMA se caracteriza por mejorar la reactividad ante eventos y esta potencialmente capacitado para resolver problemas de programación dinámica.
- Un SMA mantiene su funcionalidad a pesar de fallos individuales puntuales. Es fiable.
- Un SMA es inherentemente modular y permite una rápida respuesta ante nuevas necesidades del sistema.
- Un SMA es abierto permitiendo la integración de dinámica de nuevos agentes, eliminación de los existentes o actualización de los mismos con diferentes funcionalidades.
- Los Agentes operan de forma asíncrona pudiendo realizar trabajos en paralelo, por lo que pueden aumentar la velocidad de respuesta.

5. Propuesta de Programador de la Producción

En este apartado se realiza la propuesta en la que se presenta el conjunto de actividades que serán asumidas por el sistema programador de la producción que se obtendrá como resultado en el proyecto agentflow. El programador propuesto se caracteriza desde un punto de vista funcional por su modularidad. La opción escogida afrontar el problema de programación de la producción se basa en descomposición del problema, en subproblemas asociados a cada una de las etapas, y coordinados entre si.

En la Figura 2 se muestra la propuesta de una plataforma para la planificación/programación de la producción de un sistema productivo dinámico en una empresa cerámica. Esta plataforma permite ofrecer una visión de conjunto, de tal forma

que, se puede observar como el módulo programador (SCR) debe mantener una constante interacción con módulos dedicados a la planificación, como el generador del plan maestro (MPG), el monitor de eventos (MON) o actores como el responsable de producción (R) o los responsables de etapa (SM).

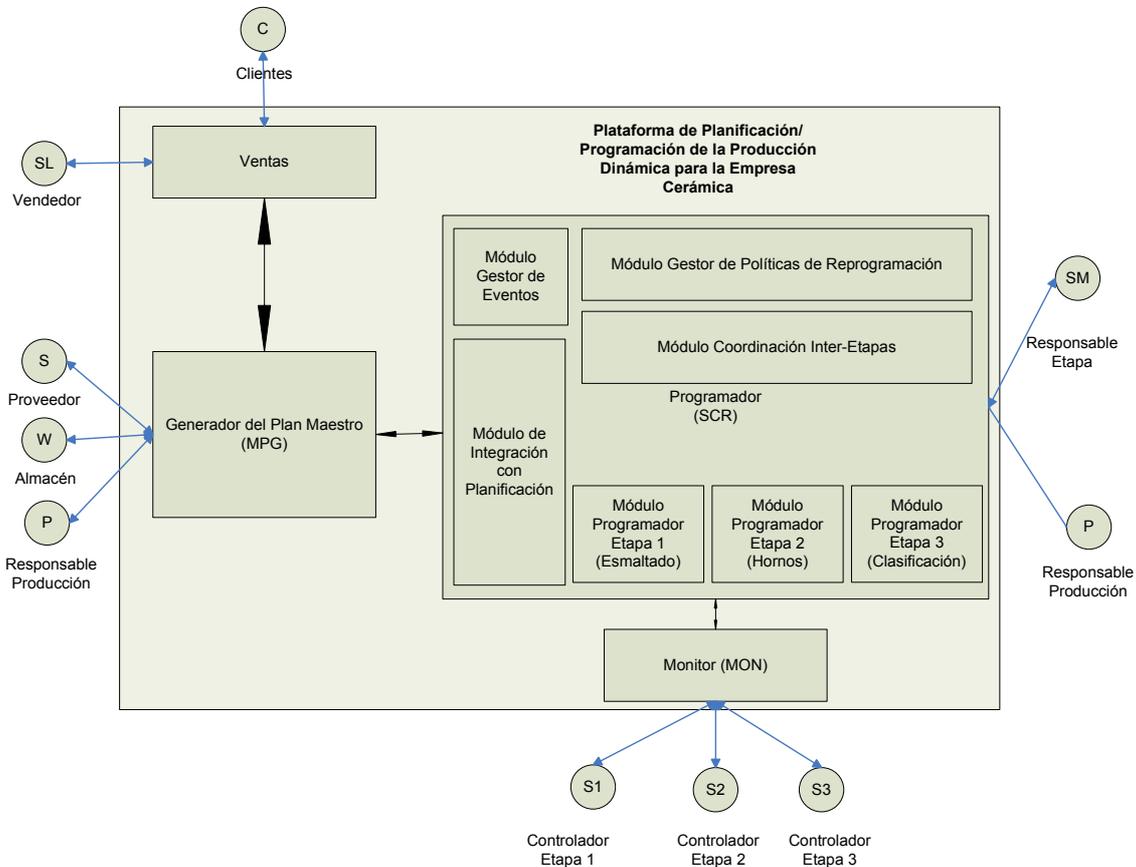


Figura 2. Propuesta de plataforma para la planificación/programación de la producción en una empresa cerámica (Elaboración propia)

En concreto el programador propuesto esta formado por siete módulos, cuya funcionalidad quedará completamente definida en el proceso de análisis y diseño que se realizará en la última fase del proyecto Agentflow. En todo caso, los objetivos fundamentales de dichos módulos son:

- **Módulo de integración con planificación:** Es el encargado de regular el nivel de actividad del taller (número de trabajos que entran en el módulo de programación). Por lo tanto es quien recibe las peticiones de programación de nuevos trabajos del planificador, incorporándolos al taller cuando sea conveniente, y quien notifica la finalización de los mismos. No sólo espera la llegada de trabajos sino que puede solicitar más trabajos (avance del calendario planificado) si el nivel de ocupación cae por debajo de un determinado nivel parametrizado con anterioridad (“taller ocioso”). En caso de necesidad es el responsable de proponer al planificador la modificación de uno o varios trabajos recibidos para hacer factible un programa.
- **Módulo gestor de políticas de reprogramación:** Debe tomar decisiones relacionadas con los instantes de reprogramación en cada etapa. Teniendo en cuenta el valor de las medidas de rendimiento y/o eventos y considerando la estabilidad del programa

fuerzan al programador de etapa a realizar una reprogramación sugiriendo una o varias técnicas para ello.

- *Módulo gestor de eventos*: Es el responsable de filtrar los eventos que afectan al programa de aquellos que no. Así mismo, debe distinguir los eventos que producen una degradación paulatina del programa en curso, de aquellos que colapsan el programa de forma inmediata. En ambos casos notifica al módulo gestor de políticas de reprogramación.
- *Módulo coordinador inter-etapas*: Tiene como objetivo obtener programas de producción factibles, en función de los trabajos propuestos por el módulo de integración con la planificación, solicitando programas parciales de cada una de las etapas (esmaltado, hornos y clasificación) que cumplan los requerimientos del sistema. Incorpora algoritmos para facilitar la factibilidad de los programas siempre se sea posible.
- *Módulo programador de la etapa 1 (Esmaltado)/ etapa 2 (Hornos)/ etapa 3 (Clasificación)*: Existe un programador independiente por cada etapa. Su misión es proporcionar un programa de producción factible en función de los requerimientos de sus etapas, que maximice o minimice la función objetivo (según el caso). Trabajan bajo la demanda del módulo coordinador inter-etapas.

El programa de producción global se obtiene mediante un proceso de negociación que se inicia por parte del módulo coordinador inter-etapas motivado por una solicitud del módulo de integración con planificación, o del módulo de gestión de políticas de reprogramación. En dicho proceso de negociación se intenta valorar las diferentes alternativas respetando las restricciones globales intentando encontrar un equilibrio aceptable con los objetivos de cada etapa.

6. Descripción del Proceso de Análisis y Diseño del SMA propuesto

La fase de análisis y diseño del SMA y su implantación se corresponden con la última etapa del proyecto Agentflow. Esta etapa está pendiente de realizarse, sin embargo se pueden avanzar algunos aspectos importantes sobre la metodología que se utilizará.

Los agentes son una potente herramienta de abstracción para el diseño y construcción de sistemas complejos, debido a que ofrecen una vía adecuada para considerar sistemas con múltiples componentes diferentes. El proyecto Agentflow utilizará la metodología INGENIAS Pavon y Gomez-Sanz (2003) para desarrollar una solución orientada a agentes para el problema de programación en una empresa cerámica.

La metodología INGENIAS utiliza durante las fases de análisis y diseño, cinco meta-modelos: (i) meta-modelo organizacional, que define como se agrupan los agentes y cuales son las funcionalidades del sistema y las restricciones en el comportamiento de los agentes (ii) meta-modelo de agente, que describe los agentes concretos que se deben usar y sus estados mentales (iii) meta-modelo de interacción, que describe como los agentes interactúan y se coordinan entre ellos, (iv) meta-modelo de entorno, que define el tipo de recursos y aplicaciones a utilizar y (v) meta-modelo de tareas y objetivos, que relaciona los estados mentales de los agentes con cada tarea.

El proceso de análisis y diseño se centrará en el módulo de programación de la producción (ver Figura 2). Se tomará como base del diseño la propuesta realizada en el apartado 5, la cual se refinará, para finalmente asignar los diversos papeles en relación

con los módulos vinculados en la programación de la producción. Será necesario incluir módulos como el de la generación de planes, monitorización, etc. con los que existe una interacción directa. El sistema resultante podrá ser fácilmente conectado a otros subsistemas de la factoría para implementar un sistema ágil de producción. La implementación se realizará con la plataforma JADE.

7. Conclusiones

Una vez finalizado el proyecto se habrá alcanzado una posición destacada en relación con el problema de programación de producción en taller de flujo en entornos complejos como aquellos considerados en este proyecto: listas de materiales directas e inversas, tiempos de cambio de partida, fabricación contra consumos continuos, incertidumbre en los datos, etapas intermedias especiales. La posibilidad de transferencia es muy alta, una empresa ha mostrado su interés en este proyecto, hasta el punto de contratar una investigación específica, mientras que otras dos han expresado su firme interés en colaborar en la conversión del prototipo que pueda surgir del proyecto en un producto utilizable.

Referencias

- Abumaizar,R.J.; Svestka,J.A. (1997). Rescheduling job shops under random disruptions. *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No.7, pp. 2065-2082.
- Andrés, C. (2001), Programación de la Producción en Talleres de Flujo Híbridos con Tiempos de Cambio de Partida dependientes de la secuencia. Modelos, Métodos y Algoritmos de Resolución. Aplicación a Empresas del Sector Cerámico, Tesis Doctoral, UPV, 2001.
- Aytug,H.; Lawley,M.A.; Mckay,K.; Mohan,S.; Uzsoy,R. (2005). Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. *European Journal of Operational Research*, Vol. 161, No.1, pp. 86-110.
- Church,L.K.; Uzsoy,R. (1992). Analysis of Periodic and Event-Driven Rescheduling Policies in Dynamic Shops. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 5, No.3, pp. 153-163.
- Daniels,R.L.; Kouvelis,P. (1995). Robust Scheduling to Hedge Against Processing Time Uncertainty in Single-Stage Production. *Management Science*, Vol. 41, No.2, pp. 363-376.
- Fang, J.; Xi,Y.G. (1997). A rolling horizon job shop rescheduling strategy in the dynamic environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 13, No.3, pp. 227-232.
- Galbraith, J. (1973). Designing complex organizations.
- Hall,N.G.; Sriskandarajah,C. (1996). A survey of machine scheduling problems with blocking and no-wait in process. *Operations Research*, Vol. 44, No.3, pp. 510-525.
- Henning,G.P.; Cerda,J. (1995). An expert system for predictive and reactive scheduling of multiproduct batch plants. *Latin Am.App.Res.*, Vol. 25, pp. 187-198.
- Herrmann,J.W. (1999). A genetic algorithm for minimax optimization problems. *Proceeding of the 1999 Congress on Evolutionary Computation*, Vol. pp. 1099-1103.
- Herrmann,J.W.; Chung-Yee,L.; Snowdon,J. (1993). A classification of static scheduling problems.
- Ho,C. (1989). Evaluating the impact of operating environments on MRP systems nervousness. *International Journal of Production Research*, Vol. 27, pp. 1115-1135.

- Kamoun,H.; Sriskandarajah,C. (1993). The Complexity of Scheduling Jobs in Repetitive Manufacturing Systems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 70, No.3, pp. 350-364.
- Lee,T.E.; Posner,M.E. (1997). Performance measures and schedules in periodic job shops. *Operations Research*, Vol. 45, No.1, pp. 72-91.
- Li,R.K.; Shyu,Y.T.; Adiga,S. (1993). A Heuristic Rescheduling Algorithm for Computer-Based Production Scheduling Systems. *International Journal of Production Research*, Vol. 31, No.8, pp. 1815-1826.
- Markowitz,D.M.; Wein,L.M. (2001). Heavy traffic analysis of dynamic cyclic policies: A unified treatment of the single machine scheduling problem. *Operations Research*, Vol. 49, No.2, pp. 246-270.
- Matsuo, H. (1990). Cyclic Sequencing Problems in the 2-Machine Permutation Flow-Shop - Complexity, Worst-Case, and Average-Case Analysis. *Naval Research Logistics*, Vol. 37, No.5, pp. 679-694.
- Mehta,S.V.; Uzsoy,R. (1999). Predictable scheduling of a single machine subject to breakdowns. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 12, No.1, pp. 15-38.
- Mehta,S.V.; Uzsoy,R.M. (1998). Predictable scheduling of a job shop subject to breakdowns. *Ieee Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 14, No.3, pp. 365-378.
- Murthy, D.N.P.; Ma, L. (1991). MRP with uncertainty: a review and some extensions. *International Journal of Production Economics*, Vol. 25, No.1-3, pp. 51-64.
- O'Donovan, R.; Uzsoy,R.; McKay,K.N. (1999). Predictable scheduling of a single machine with breakdowns and sensitive jobs. *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No.18, pp. 4217-4233.
- Ouelhadj, D. (2003). A multi-agent system for the integrated dynamic scheduling of steel production.
- Pavon,J.; Gomez-Sanz,J. (2003). Agent oriented software engineering with INGENIAS. *Multi-Agent Systems and Applications II, Proceedings*, Vol. 2691, pp. 394-403.
- Pinedo, M. (1995). *Scheduling. Theory, Algorithms and Systems*.
- Pinedo, M.; Chao,X. (1999). *Operations scheduling with applications in manufacturing and services*.
- Raheja,A.S.; Subramaniam,V. (2002). Reactive recovery of job shop schedules - A review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 19, pp. 756-763.
- Roundy, R. (1992). Cyclic Schedules for Job Shops with Identical Jobs. *Mathematics of Operations Research*, Vol. 17, No.4, pp. 842-865.
- Shafaei,R.; Brunn,P. (1999a). Workshop scheduling using practical (inaccurate) data Part 1: The performance of heuristic scheduling rules in a dynamic job shop environment using a rolling time horizon approach. *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No.18, pp. 3913-3925.
- Shafaei,R.; Brunn,P. (1999b). Workshop scheduling using practical (inaccurate) data Part 2: An investigation of the robustness of scheduling rules in a dynamic and stochastic environment. *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No.18, pp. 4105-4117.
- Shen W.; Norrie D. H. (1999), Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State of the Art Survey, *International Journal of Knowledge and Information Systems*, 1 (2), pp. 129-156. Disponible <http://img.enme.ucalgary.ca/publication/abm.htm>.
- Sycara K. (1998), Multiagent Systems, *Artificial Intelligence Magazine*, American Association for Artificial Intelligence, n° pp. 80-92.

Vieira,G.E.; Herrmann,J.W.; Lin,E. (2003). Rescheduling manufacturing systems: A framework of strategies, policies, and methods. *Journal of Scheduling*, Vol. 6, No.1, pp. 39-62.

Vieira,G.E.; Herrmann,J.W.; Lin,E. (2000). Analytical models to predict the performance of a single-machine system under periodic and event-driven rescheduling strategies. *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No.8, pp. 1899-1915.

Wooldridge M.; Jennings N. R. (1995), *Intelligent Agents: Theory and Practice*. *The Knowledge Engineering Review*, vol. 10(2) pp. 115-152. Wu,S.D.; Byeon,E.S.; Storer,R.H. (1999). A graph-theoretic decomposition of the job shop scheduling problem to achieve scheduling robustness. *Operations Research*, Vol. 47, No.1, pp. 113-124.