

Aplicación del Modelado de Sistemas Multiagente al Problema de la Programación de la Producción en la Industria Cerámica *

Pedro Gómez Gasquet¹, José Pedro García Sabater¹

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

Resumen

En la actualidad el sector cerámico necesita procesos productivos dinámicos para ofrecer a sus clientes respuestas on-line. Así, las compañías pueden gestionar una respuesta en tiempo real sobre sus servicios y fechas de entrega de los productos solicitados, afrontando un proceso de personalización en el cual las actividades de diseño y venta participan antes de la etapa productiva. El servicio al cliente debe cubrir todas las actividades que pueden mejorar la satisfacción del cliente (ofertas, pedidos, servicio post-venta, etc.). Las tareas productivas en una industria cerámica son un problema complejo que requiere aplicaciones software robustas y flexibles. Los recientes avances en sistemas Multiagentes aplicados a problemas generales de programación de la producción y aplicaciones industriales han demostrado las ventajas de la tecnología de agentes en problemas distribuidos complejos. En este trabajo se presenta el modelado de un sistema Multiagente para un problema de programación de la producción en una industria cerámica. La propuesta presentada tiene como objetivo mejorar el rendimiento del sistema productivo, incrementando la fiabilidad del programa de producción y manteniendo programas actualizados. Se propone un sistema Multiagente en el cual los agentes cooperan para encontrar un programa teniendo en cuenta el dinamismo de los pedidos, la capacidad de la fábrica, las restricciones temporales, la demanda anticipada y las restricciones impuestas por el plan maestro. El valor de la propuesta es doble. Por un lado, es útil para definir programación de las diferentes tareas productivas, mientras por otro lado puede ser adecuada para actividades de simulación.

Palabras clave: Programación de la producción, Sistema Multiagente.

1. Introducción

El problema que se aborda es este documento es el de la mejora del proceso de programación para facilitar la automatización del proceso de confección de un pedido en tiempo real en el sector de pavimento/revestimiento cerámico. Se pretende que la confección del pedido sea un proceso, que guiado por los intereses del vendedor (calidad de la oferta, margen, etc.) para satisfacer las preferencias del comprador (tipo producto, fecha entrega, precio, etc.), y que acabe materializándose en un pedido en firme, todo ello en tiempo real.

La aportación que se realiza en este documento se centra en la propuesta del sistema de planificación/programación de la producción de las empresas productivas que participan en la cadena de suministro con el objetivo de facilitar su incorporación a un sistema de gestión de pedidos como el descrito mediante la generación de ofertas. Fuera de esta aportación quedaría

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por la Universidad Politécnica de Valencia con nº registro 5574, y con acrónimo "Agentflow".

el proceso de gestión global de ofertas de los diversos actores de la cadena para su selección y envío al punto de ventas, así como el proceso de confirmación del pedido.

2. Descripción del Problema

Actualmente el sector cerámico necesita disponer de un proceso productivo dinámico que permita vincular las tareas productivas con la programación de la producción on-line. Así, las compañías pueden ofrecer a sus clientes respuestas en tiempo real sobre sus servicios y sobre las fechas de entrega de sus productos. Muchas de las empresas extendidas se han centrado inicialmente en el refuerzo de los vínculos y flujos entre las compañías que están involucradas en la misma cadena de suministro (Macbeth (1998)). Esta propuesta considera como aspecto clave el tiempo de respuesta de una cadena de suministro para satisfacer un pedido, ya que se entiende que tiene un peso importante a la hora de tomar una decisión de compra por parte del cliente final. Alcanzar un sistema ágil como el que se propone implica la mejora de una serie de aspectos en el conjunto de la cadena de suministro. Uno de los más importantes es sin duda alguna la automatización de los procesos, no sólo en el nivel de cadena de suministro sino también de empresa individual, Linthicum (1999).

En el caso de la cadena de suministro de la industria cerámica la competencia de la industria China fuerza a los productores europeos a competir en calidad y atención al cliente, ASCER (2003). La atención al cliente cubre todo el ciclo (oferta, pedido, servicio postventa, etc.). Por lo tanto la mejora de la atención al cliente se inicia por una buena gestión del pedido que permita informar a los consumidores no sólo sobre fechas de entrega en tiempo real, sino también configuración asistida de packs de productos en base a guías de diseño, sugerencias sobre productos alternativos, gestión de excepciones, etc.

El problema que se aborda es este documento es el de la mejora del proceso de programación de la producción con el objeto de contribuir a la automatización del proceso de confección de un pedido en tiempo real en el sector de pavimento/revestimiento cerámico. Se pretende que la confección del pedido sea un proceso, que guiado por los intereses del vendedor (calidad de la oferta, margen, etc.) para satisfacer las preferencias del comprador (tipo producto, fecha entrega, precio, etc.), y acabe materializándose en un pedido en firme, todo ello en tiempo real. La aproximación a la solución se realiza sin perder de vista en ningún momento la visión de global de servicio al cliente.

Esta propuesta se basa en un proyecto a medio plazo que tiene como objetivo conseguir un sistema de gestión del pedido para la industria cerámica capaz de satisfacer las necesidades de cada tipo de cliente adaptando la respuesta en función del estado actual de la cadena de aprovisionamiento/distribución. Esta propuesta se basa en la capacidad del sistema de ofrecer las alternativas mas adecuadas aunque ello suponga cambios en los programas, si con ello se mejora la calidad general.

El problema que se presenta ofrece al menos un reto doble. Por un lado es necesario disponer de la información relativa a los inventarios de la red de distribución, los planes maestros y programas productivos, rutas de transporte, etc. que nos permita tomar decisiones adecuadas. Por otro lado, se requiere adquirir cierta autonomía e inteligencia en los procesos de toma de decisión que nos permita aprovechar las oportunidades de negocio que se producen en un sistema claramente distribuido y en el que el tiempo de respuesta es un factor crítico.

Los retos detectados implican trabajar en dos niveles diferentes: Procesos en la Cadena de Suministro y Procesos en las empresas. La aportación que se realiza en este documento se centra en la propuesta a nivel de empresa individual.

El sistema productivo de las empresas cerámicas es por su propia naturaleza poco flexible. En la actualidad las empresas cerámicas no disponen de un sistema de gestión de la producción capaz de sacar provecho a sus características. Se considera fundamental disponer de un sistema de planificación/programación de la producción que sea ágil y reactivo. En concreto se propone un marco de trabajo que basado en un programador que aproveche la distribución, la singularidad y el dinamismo de los diversos procesos que se realizan que les permitan alcanzar una gestión ágil de los pedidos.

3. Propuesta de Plataforma de Planificación/Programación de la Producción

En la Figura 1 se muestra una arquitectura común de un sistema de producción cerámica. Cada módulo representa una funcionalidad específica. Este trabajo se centra en el módulo de programación de la producción presentando el modelado de la estructura interna de un sistema multiagente.

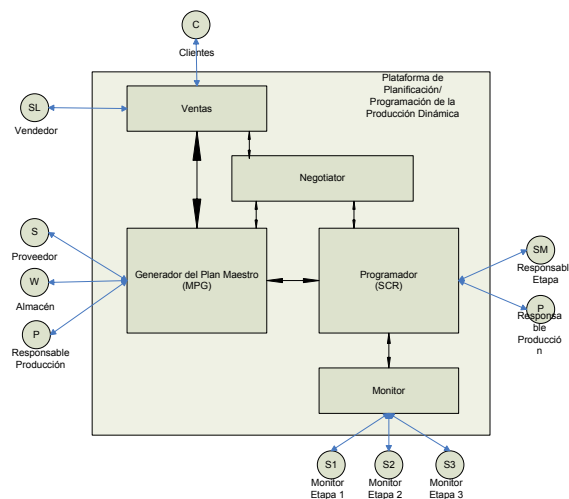


Figura 1. Plataforma dinámica de planificación/programación de la producción.

La plataforma en la que actúa el sistema de programación de la producción que se propone está compuesta por diversos módulos básicos, que son:

Ventas: Gestiona cualquier tipo de relación con el cliente. Disponer de la información relativa a cada cliente, no sólo referente a un determinado número de ofertas, sino información de carácter general que permita conocer mejor sus gustos, establecer una negociación ventajosa, etc.

Generador del Plan Maestro (MPG): Es el encargado de proporcionar el Plan Maestro, que incluye la visión a medio-largo plazo, pero también el corto plazo integrando el programa de producción. El MPG es el único que dispone de la información consolidada útil para la gestión de pedidos. El MPG es el único que ofrece información al módulo Sales.

Programador: El programador genera programas de producción de acuerdo con los datos y parámetros enviados por el MPG y el estado de la planta en cualquier instante. Internamente

esta constituido por tres programadores coordinados, un por cada etapa. El programador inicia el proceso de mejora del valor actual de la función objetivo asociada cuando este se sitúa por debajo de un umbral.

Negociador: Tiene la responsabilidad de iniciar la negociación con los clientes finales de acuerdo con las peticiones del MPG o el programador. Este módulo dispone de un conjunto de estrategias de programación. Todas las negociaciones son realizadas a través del módulo de Ventas.

Monitor: Este módulo es responsable de detectar los eventos recibidos que pudiesen afectar a los pedidos en curso. El monitor evalúa si los eventos afectan o no a las fechas comprometidas. En caso afirmativo, enviará un aviso al programador.

El conocimiento detallado de los módulos que componen la plataforma de planificación/programación on-line para dar soporte al sistema de ventas propuesto, proporciona una visión de conjunto del marco en el que se debe integrar la funcionalidad de programación de la producción.

4. El Proceso Productivo Cerámico

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). Se puede considerar como una única entidad al conjunto formado por prensas y líneas de esmaltado (varias de prensas y líneas en paralelo). Esto es debido a que todas las máquinas están unidas por un sistema de cinta transportadora y por lo tanto el orden los productos fabricados es el mismo en todas las máquinas. En segundo lugar se considera a cada horno túnel como una máquina (existiendo tres hornos). Las secciones de clasificado y embalado están unidas por una cinta transportadora, por lo que las consideramos como una única máquina (existen tres máquinas). Entre las secciones de líneas y hornos y hornos y clasificación existen amplias zonas de almacenamiento que se supondrán de capacidad infinita. El modelo que se plantea, con diez máquinas, se puede observar en la siguiente figura.

El problema de la programación de la producción en talleres de flujo híbrido en ausencia de tiempos de cambio de partida ha sido considerado por muchos autores como: Vignier et al. (1999). De todas formas, hay pocos trabajos que tengan en cuenta los cambios de partida (Allahverdi et al. (1999); Yang y Liao (1999)). En cualquier caso, en muchos sistemas reales, los cambios de partida y en general los eventos deberían ser considerados para mejorar el proceso de programación. Teniendo esos eventos en cuenta se pueden encontrar diversas propuestas basadas en sistemas multiagentes en Shen y Norrie (1999).

Con objeto de establecer un orden en el proceso de fabricación la mayoría de empresas del sector cerámico trabajan con un plan maestro de producción a medio plazo y un programa de producción a corto plazo.

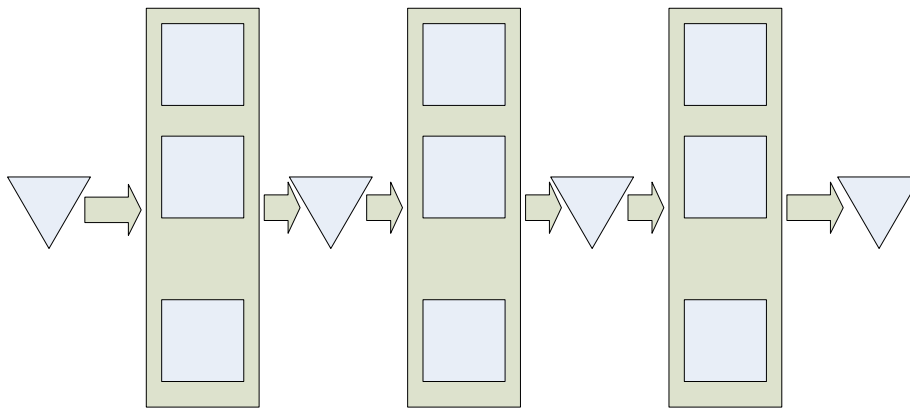


Figura 2. Taller de flujo híbrido de 3 etapas (4-3-3) (Elaboración propia).

En la actualidad, en la mayoría de las empresas, aunque el plan maestro es la base para generar el programa el proceso no es automático, existiendo un trabajo intermedio de tratamiento de todos los eventos percibidos y no reflejados en el plan. Existe un fuerte desacople entre ambos instrumentos. El proceso de generación es lento y complejo ya que supone la integración de información dispersa y con diverso grado de impacto.

En la actualidad, las empresas cerámicas, suelen generar programas de producción que se caracterizan por:

- No Automatizados: Son programas estáticos, reflejo de n semanas del plan maestro previsto correspondiente. Conversión del plan al programa manual o semi-manual.
- No son reactivos: Estos sistemas de programación no permiten afrontar automáticamente los diversos eventos que ocurren durante el transcurso del mismo (averías, fallos proveedor, variación en el proceso, etc.). En la industria cerámica se producen eventos condicionados por un proceso químico característico sujeto a variaciones sensibles en función de las condiciones del entorno (humedad, temperatura, etc.). Estos eventos, aunque se solucionan, no se reflejan en ningún sistema de información.
- No se adapta singularidades: Son programas basados en modelos globales que no tienen en cuenta las peculiaridades de las diversas etapas del proceso de fabricación, ni los estados diferenciados.
- No distribuidos: Son programas generados en base a un tratamiento centralizado de la información disponible.
- Miopes: Son programas basados en modelos con una única función objetivo.

Este sistema de planificación/programación de la producción no tiene las características adecuadas actuar como soporte de un sistema de gestión de pedidos como el que se propone.

5. Beneficios de un Sistema Multiagente

Se propone el uso de un sistema multiagente para una optimización integrada y dinámica de la programación de un taller de fabricación cerámica. 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.

6. La Propuesta del Sistema Multiagente

El sistema multiagente que se propone debería ser usado para realizar una optimización integral del sistema de fabricación dinámico de una planta de producción de baldosas cerámicas.

6.1. Descripción del Proceso de Modelado

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. En este trabajo se presenta una experiencia de modelado usando la metodología INGENIAS (Pavón y Gómez (2003)) para desarrollar una solución orientada a agentes para el problema de programación en una empresa cerámica.

Durante las fases de análisis y diseño, se usan 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.

Este trabajo se centra en la fase de diseño del módulo de programación de la producción (ver Figura 1). Se toma como base del diseño la propuesta realizada en el apartado 3, la cual se refina y en la que finalmente se asignan diversos papeles en relación con los módulos vinculados en la programación de la producción. Es necesario incluir módulos como el de la

generación de planes, monitorización, etc. con los que existe una interacción directa. En sucesivos apartados se presentarán los diagramas (casos de uso, modelo de organización, modelo de agentes, modelo de tareas y objetivos) de un sistema distribuido, flexible y autónomo de la programación de la producción. El sistema puede ser fácilmente conectado con otros subsistemas de la factoría para implementar un sistema ágil de producción.

6.2. Diagramas de Casos de Uso

Un diagrama de casos de uso (ver Figura 3) de uso proporciona un modelo de conjunto de los comportamientos de un sistema que resuelve un objetivo del usuario. Así, esta descripción representa un requisito funcional, mostrando lo que sucede, pero no como es alcanzado por el sistema. Según lo mencionado anteriormente, nuestro estudio se centra en el sistema de programación donde existen cuatro casos de uso principales. En el *diagrama de creación de programas*, crea una programación factible que se realizará en las semanas siguientes. Esta programación se establece partiendo de los lotes de la fabricación definidos en el plan maestro. En el *diagrama de modificación del programa*, se modifican las programaciones anteriores que han presentado problemas durante su ejecución. Por lo tanto, esas programaciones se configuran de nuevo para ajustarlas a los cambios de la fábrica. El *diagrama de ejecución del programa*, supervisa la programación semanal en ejecución, informando sobre los problemas presentados. Finalmente, en el *diagrama de alteración del plan maestro*, se detectan los problemas que podrían alterar el plan maestro.

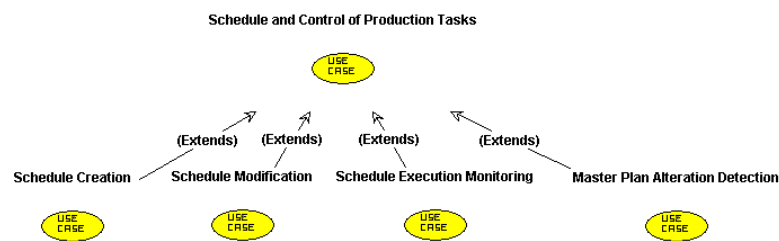


Figura 3. Casos de uso para las tareas de programación y control de la producción.

6.3. Modelo de Organización

El modelo de la organización está definido por las metas y las tareas de la organización; los flujos de trabajo que determinan asociaciones entre tareas y la información de carácter general sobre su ejecución; grupos, que pueden contener agentes, papeles, recursos o aplicaciones; y relaciones sociales.

En relación con el modelo de la organización para la fábrica de la baldosa cerámica, la organización de la fábrica se ha descompuesto en varios grupos enfocados en las diversas actividades de la compañía: Ventas, producción, almacén, etc. Cada grupo contiene otros grupos o diversos papeles. Por ejemplo, el grupo de la producción incluye a dos grupos: Programación de la producción y planta. Además, la planta contiene cuatro papeles: Responsable de planta, responsable de prensa, responsable del horno y responsable de la clasificación/embalaje, donde el primero tiene autoridad sobre el resto. Además, se reconocen siete flujos de trabajo: (i) Diseño de la baldosa cerámica, donde las características de producto fabricar y el mercado durante la estación se especifican; (ii) Ventas, donde los representantes comerciales venden productos de la fábrica y manejan órdenes de clientes; (iii) Análisis de las ventas pronosticadas, en las cuales las predicciones futuras de la demanda se

obtienen de datos de las ventas, de órdenes, etc.; (iv) Definición del plan maestro, donde se definen las órdenes de la producción, ordenando las diversas porciones del producto que se producirán; (v) El horario y el control de las tareas de la producción, de que incluye actividades tales como determinación de hora de salida y de la asignación de recursos para una producción específica del lote; (vi) Fabricación de baldosas, esa incluye todas las tareas que están relacionadas con la producción en planta de los lotes del producto; (vii) Almacenaje de la baldosa cerámica, donde los productos finales se almacenan dentro de almacenes.

En el modelo de la organización para el proceso de programación de la producción, se distinguen varios papeles: (i) *Gestor*, responsable de la organización de los agentes, mantiene integridad entre todos los agentes a cargo de definir y de controlar la programación y regula la cooperación entre los diversos papeles; (ii) El *Director de producción* de producción, que mantiene la información sobre la configuración real de la planta y sabe todas las restricciones y características de cada elemento de la máquina y de la planta; (iii) *El planificador*, que tiene la capacidad de programar trabajos y recursos; (iv) *Monitor de ejecución de programa*, de que supervisa la ejecución real de un horario en una planta específica; (v) *Monitor de ejecución del plan maestro*, que controla cambios posibles en el plan maestro (según errores de la ejecución, de la modificación y de la creación de la programación) e informa al gestor cuando identifica una alteración que se deba propagar al proceso del generador del plan maestro; (vi) *Controlador de modificaciones del programa*, que mantiene la información sobre los cambios necesarios para ajustar la programación debido a fallos en el proceso de fabricación; (vii) *Planificador de lotes*, que maneja toda la información sobre la secuencia de trabajos; (viii) *Controlador de creación de programas*, que supervisa la información sobre una nueva orden de programación, más específicamente sobre la asignación del recursos a un lote específico del plan maestro.

6.4. Modelo de Agente

Con respecto a modelos del agente, un agente específico se ha asignado a cada papel identificado en el modelo de la organización: Gestor, Planificador, Director Producción, Responsables de prensas, hornos y clasificación, Monitor de ejecución de programa y de plan maestro, Planificador de lotes y controladores de modificaciones y de creación. Se considera que es necesaria una habilidad característica (conocimiento y técnicas) para desarrollar los papeles asignados.

Para cada agente se tienen que asociar, sus metas, tareas y estados mentales tienen. Destacan los modelos del agente del *controlador de creación de programas* y del *planificador de lotes*. El agente del *controlador de creación de programas* está a cargo de generar una nueva programación de lote, así que tiene que inicializar la programación y después construir una oferta final. El agente del *planificador de lotes* proporciona la secuencia de tarea para un lote específico.

6.5. Modelo de Tareas/Objetivos

Con respecto a modelos del agente, un agente específico se ha asignado a cada papel identificado en el modelo de la organización. Para cada agente tienen que ser asociados, sus metas, tareas y estados mentales. La Figura 4 muestra los modelos del agente del regulador de la creación del horario y del planificador de la producción. El agente del regulador de la creación del horario está a cargo de generar un nuevo horario de la producción, así que tiene

Linthicum D.S. (1999). Enterprise Application Integration, Addison-Wesley Information Technologies Series, ISBN 0-201-61583-5.

Macbeth. (1998). Partnering Strategy Implementation in the Supply Chain, Strategic Management of the Manufacturing Value Chain, Bittici U., Carrie A. (Edits.) Kluwer.

Pavon, J.; Gomez, J. (2003). Agent Oriented Software Engineering with INGENIAS. Multi-Agent Systems and Applications II, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2691, 394-403.

Shen W.; Norrie D. H. (1999) Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State of the Art Survey, Int. Journal of Knowledge an Information Systems, 1(2), 129-156.

Vignier A ; Billaut JC ; Proust C. (1999). Les Problemes d'ordonnancement de type flow shop hybride: Etat de l'art, RAIRO Operations Research, 33, 117-183.

Yang W.; Liao C. (1999). Survey of scheduling research involving setup times, International Journal o Systems Science, 30, 2, 143-155.