

## **Una revisión sobre los sistemas multiagente en la Ingeniería de Organización**

**M<sup>a</sup> del Carmen Delgado<sup>1</sup>, Pablo Cortés<sup>1</sup>, Jesús Muñozuri<sup>1</sup>, Luis Onieva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Grupo Ingeniería de Organización. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla. {mdelgado, pca, munuzuri, onieva}@esi.us.es

### **Resumen**

*Los Sistemas Multiagente surgieron para resolver grandes problemas en los que los datos podían estar distribuidos y ser de distinta naturaleza. Estas son características propias de los problemas tratados por la Ingeniería de Organización en el ámbito de la Gestión de la Producción, la Cadena de Suministro y el Transporte. La revisión de múltiples aplicaciones de los Sistemas Multiagente en estas áreas muestra la evolución de la adaptación de estos en dichas áreas, así como las condiciones a darse y a tener en cuenta para el adecuado y exitoso desarrollo de los Sistemas Multiagente.*

**Palabras clave:** Sistemas Multiagente, Transporte, Producción, Cadena de Suministro

### **1. Introducción a los Sistemas Multiagente**

La inteligencia artificial distribuida puede definirse como el estudio, la construcción y la aplicación de los denominados sistemas multiagente (*Multiagent Systems*, MAS); sistemas en los que diversas entidades inteligentes interactúan para la consecución de un conjunto de objetivos o la realización de una serie de tareas.

Esta línea surgió para cubrir la necesidad de resolver grandes problemas en los que los datos pueden estar distribuidos y ser de distinta naturaleza. Ante esta situación, las actividades y la inteligencia deben ser también distribuidas. Otras situaciones que resultan apropiadas para la aplicación de los sistemas multiagente son aquellas que requieren de un punto de vista distribuido para su estudio.

El proceso de resolución de problemas complejos mediante MAS consiste, básicamente, en dividir estos en subproblemas de menor envergadura. La integración de diferentes perspectivas de análisis en el proceso de resolución de los problemas, junto con la introducción de mecanismos de tolerancia a fallos consigue reducir la incertidumbre en las soluciones alcanzadas. El rendimiento global del proceso también se incrementa mediante la concurrencia y cooperación de los distintos elementos inteligentes que participan para la obtención de la solución o respuesta del sistema.

Los sistemas multiagente son especialmente apropiados para problemas con múltiples métodos de resolución, múltiples perspectivas y/o múltiples entidades solucionadoras de problemas. Heredan así las ventajas de la resolución de problemas de forma distribuida y concurrente y, añaden además, las derivadas de la interacción entre las entidades que los componen, los agentes (Jennings *et al* 1998).

## 2. Aplicación de los Sistemas Multiagente

Son numerosas las aplicaciones que los MAS tienen hoy día. Su flexibilidad y versatilidad los hace apropiados a numerosos ámbitos de investigación y de la industria. Así, existen numerosas aplicaciones en robótica, simulación de sistemas sociales, sistemas de gestión, comercio electrónico, medicina, etc.

Los criterios para la clasificación de las distintas aplicaciones de los sistemas multiagente son variados y dependen de los autores. Ferber (1999) los divide según las líneas de investigación en las que se enmarcan; Jennings *et al* (1998) atienden al ámbito del sector industrial o profesional en el que se aplica; y Oliveira *et al* (1999) distinguen en función de la naturaleza software o hardware del agente, refiriéndose a la relación entre el agente y su entorno con el mundo real.

En general, los dominios de aplicación de los sistemas multiagente se caracterizan por un conjunto de rasgos típicos, tales como distribución, complejidad, capacidad de interacción flexible, dinamismo e inconcreción inicial del problema a resolver (Parunak 1999).

Desde un punto de vista genérico, los sistemas multiagente suponen una herramienta para la resolución de problemas. Como ya se ha dicho, se componen de un conjunto de entidades solucionadoras de problemas, autónomas, cooperantes y capaces de interactuar entre sí para la resolución de un determinado problema o el alcance de ciertos objetivos. Esta es la causa y la forma en que se han introducido en el ámbito de la Ingeniería de Organización, constituyéndose como una herramienta para el estudio, análisis y resolución de los problemas propios de la Gestión de la Producción, la Cadena de Suministro y el Transporte.

Los entornos de producción actuales continuamente cambiantes, así como las demandas de los mercados cada vez más exigentes, originan la aparición de nuevas estructuras, relaciones y problemas. La Investigación Operativa ha ofrecido, tradicionalmente, un marco y una serie de técnicas para el proceso de toma de decisiones ante estas situaciones. Entre las herramientas utilizadas puede citarse la programación matemática, sistemas para análisis de redes, Redes de Petri, Redes Neuronales, o técnicas de Inteligencia Artificial.

Las primeras incursiones de la Inteligencia Artificial en el mundo de la planificación/programación de la producción tuvieron lugar mediante los Sistemas Expertos. Hoy día la aplicación de los MAS permite un mayor rango de posibilidades para la actuación y resolución de las situaciones típicas en entornos de planificación de la producción, gestión de la cadena de suministro o del transporte.

### 2.1. Los Sistemas Multiagente en la Gestión de la Producción

La *Gestión de la Producción* puede definirse como la planificación, programación y control del flujo de materiales que circula a través del sistema productivo (Larrañeta *et al* 1988). Esta se encarga de analizar qué decisiones son eficaces en pos de cumplir con los objetivos de la empresa, así como de determinar los criterios de valoración para identificar la eficiencia del sistema. Para McKay y Black (2007) estos pueden considerarse como sistemas de apoyo a la toma de decisiones (*Decision Support System*, DSS) especializados, cuyo objetivo es tomar las necesidades de fabricación y encajarlas con el modelo de la fábrica o la cadena de suministro.

Las características y exigencias de los mercados actuales requieren de las empresas y centros de fabricación bajos tiempos de producción, bajos precios, ciclos de vida de productos cortos,

etc. Ante esta situación, se hacen necesarios nuevos enfoques y técnicas para los sistemas de planificación y control de la producción. Técnicas que deben proporcionar al sistema características tales como flexibilidad, agilidad o reactividad entre otras.

Los sistemas de Planificación y Control de la Producción son especialmente importantes para responder a las crecientes demandas de los clientes y las expectativas de la situación actual, en cuanto a la elevada competitividad y ambiente de facturación se refiere.

Para ello se requieren nuevos enfoques que hagan a los medios y sistemas de producción adaptativos (ágiles, capaces de adaptarse a cambios en el ambiente) y a los sistemas de control inteligentes, flexibles y tolerantes a fallos. Con este objetivo, numerosos enfoques han negado las estructuras centralizadas y jerarquizadas a favor de las distribuidas. Los nuevos sistemas de producción y control basados en esta filosofía tratan de ser reconfigurables y estar compuestos por módulos autónomos e inteligentes capaces de interactuar dinámicamente entre sí para la consecución de objetivos locales y globales.

En esta situación se produce la adopción de los sistemas multiagente en varios entornos industriales. Este enfoque abandona la visión tradicional centralizada o de jerarquía multinivel. Se asume la presencia de múltiples entidades decisoras distribuidas en el sistema de fabricación interactuando y cooperando para alcanzar el nivel óptimo de funcionamiento.

Una de las primeras aproximaciones en pos de la cooperación en sistemas distribuidos es la propuesta por Baillet y Cauvin (1995). La denominada Aproximación Descentralizada para la Toma de Decisiones rompe con la estructura jerárquica tradicional. Esta propone una estructura de niveles de decisión basada en el concepto de cooperación entre centros de decisión que gozan de un cierto nivel de autonomía. Con este enfoque se pretendió mejorar la flexibilidad en la toma de decisiones a nivel operacional. La hipótesis subyacente en la base de estos modelos establece que, a partir de un comportamiento autónomo de las entidades, que puede ser incluso contradictorio, emerge un comportamiento global coherente con las necesidades finales.

La adopción de este paradigma en el ámbito industrial puede revisarse en Caridi y Cavalieri (2004). La Tabla 1 presenta el grado de aplicación de los sistemas multiagente con respecto a distintos dominios de la Planificación y Control de la Producción. Puede observarse en ella cómo destacan las aplicaciones en programación y monitorización.

**Tabla 1.** Ámbitos de aplicación de los MAS. Fuente: Caridi y Cavalieri (2004).

<b>Dominio aplicación</b>	<b>Difusión (%)</b>	<b>Papel de agentes</b>
Presupuesto de pedidos	5	Gestores de coste
Diseño	13	Agentes de diseño y rasgo
Ingeniería	6	Agentes de diseño de proceso y fabricación
Previsión de la demanda	5	Agentes de ventas y marketing
Gestión de órdenes	7	Agentes de órdenes
Plan maestro de producción	6	Agentes planificadores de producción
Planificación necesidades recursos	9	Agentes planificadores de producción
Programación	20	Programadores y <i>dispatcher</i>
Compras	7	Agentes de órdenes, compradores, proveedores
Monitorización	17	Controladores, monitores
Distribución	5	Agentes de almacenamiento y gestión almacenes

En los últimos años se han propuesto distintos enfoques basados en tecnología de agentes para sistemas de producción inteligentes y distribuidos abarcando las distintas áreas del ámbito de la Gestión de la Producción. Algunos ejemplos de aplicaciones más recientes son los presentados por Tchikou y Gouardres (2003), Mahesh *et al* (2007) y Lima et al (2006).

**Tabla 2.** Ejemplos de aplicaciones de Sistemas Multiagente en Gestión de la Producción.

Referencia	Aproximación/Aplicación
Tchikou y Gouardres (2003)	Herramienta de control
Mahesh et al. (2007)	Herramienta de planificación
Lima et al. (2006)	Herramienta de perspectiva global

Un modelo de sistema multiagente para un sistema de control de la producción es presentado por Tchikou y Gouardres (2003). Esta aplicación destaca una importante ventaja ofrecida por los sistemas multiagente: evitan la codificación exhaustiva de comportamientos y relaciones del sistema. En los actuales sistemas de producción, existen un elevado número de parámetros y componentes entre los que se producen variadas relaciones. La codificación inicial de todas estas posibilidades implicaría una explosión combinatoria del tamaño del problema abordado con métodos tradicionales.

La definición de un sistema de planificación y control de la producción para un sistema de producción distribuido es presentada por Lima *et al* (2006). Las características básicas de este son distribución, autonomía y reconfigurabilidad, por lo que resulta claramente adecuado para entornos dinámicos. En este caso, el sistema es construido con un sistema multiagente compuesto de tres tipos de agentes básicos: cliente, gestor de órdenes y recurso de producción.

Un paso más allá lo representa la aportación de Mahesh *et al* (2007) que propone un marco genérico para un sistema multiagente capaz de abarcar desde el diseño de un producto, evaluación de la fabricación, planificación, programación hasta la monitorización de su desarrollo. El sistema multiagente propuesto consta de múltiples tipos de agentes dedicados a funciones específicas con la posibilidad de adición de nuevos tipos de agentes conforme el sistema de producción se expanda y evolucione. Se trata, por tanto, de un enfoque de alta flexibilidad.

## 2.2. Los Sistemas Multiagente en la Cadena de Suministro

La gestión de la Cadena de Suministro (*Supply Chain*, SC) es una práctica de negocio empleada para resolver algunos de los problemas industriales típicos mediante el concepto de colaboración interempresa. Esta colaboración permite planificar y sincronizar operaciones a lo largo de la cadena de suministro. De esta forma, pueden resolverse problemas industriales considerados en la red de empresas productoras y distribuidoras de productos o servicios a los clientes finales.

En la literatura pueden encontrarse múltiples definiciones para la Cadena de Suministro. La propuesta por Muckstadt *et al* (2001) la define como el conjunto de empresas que actúan para diseñar, desarrollar la ingeniería, comercializar, fabricar y distribuir los productos y/o servicios a los consumidores finales.

La gestión de la cadena de suministro, al contrario que las actividades de planificación y control de la producción, no busca la eficiencia de las operaciones internas de la empresa sino la gestión y coordinación de actividades en toda la cadena.

La aparición del concepto de cadena de suministro también exigió el uso de técnicas de análisis y estudio distribuido, que se alejaron de los tradicionales enfoques centralizados (Moyaux *et al* 2006). Los sistemas multiagente han sido aplicados a ella. El modelo de la Cadena de Suministro sugiere, de forma natural, un enfoque de descomposición, lo que a su vez, favorece el uso de las técnicas basadas en agentes. De hecho, desde este punto de vista, las unidades de fabricación distribuida tienen las mismas características que los agentes: autonomía, habilidad social, reactividad y proactividad. Puede decirse que los sistemas multiagente ofrecen una forma de elaboración de sistemas de producción descentralizada, emergente y concurrente.

Para Strader *et al* (1998) los MAS constituyeron una nueva tecnología capaz de aunar, mejorar y reemplazar a las técnicas anteriormente aplicadas para la gestión de la gran cantidad de información, los numerosos procesos y fenómenos que se dan en la cadena de suministro, destacándose en esta tarea la capacidad de interacción social de los agentes y su flexibilidad.

Una de las primeras aplicaciones de MAS al desarrollo de una cadena de suministro es el modelo ISCM (*Integrated Supply Chain Management*), el cual es considerado como uno de los pioneros en este ámbito.

Fox *et al* (1993), en su proyecto ISCM sentaron las bases sobre la filosofía, requisitos y condiciones que debían tenerse en cuenta para la adecuada constitución y funcionamiento de un MAS aplicado a SC. Para años más tarde definir la denominada arquitectura de agente ABS.

MASCOT (*Multi-Agent Supply Chain cOordination Tool*) es una arquitectura reconfigurable y multinivel para la planificación y programación de una SC coordinada con el objetivo de soportar las funcionalidades necesarias en un entorno de mercado como el actual, altamente dinámico y competitivo.

La Tabla 3 recoge algunas de estas primeras aproximaciones.

**Tabla 3.** Primeras aproximaciones de los Sistemas Multiagente a la Cadena de Suministro.

Referencia	Aproximación/Aplicación
Fox <i>et al</i> (1993)	ISCM
Sadeh <i>et al</i> (1999)	MASCOT
Fox <i>et al</i> (2000)	Proyecto TOVE

La revisión de las primeras aproximaciones a la gestión de la cadena de suministro mediante MAS (ISCM, proyecto TOVE, MASCOT) sienta las bases para comprender, a un mayor nivel de abstracción y con carácter más general, las más recientes aplicaciones de MAS a la cadena de suministro, como las presentadas en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Ejemplos de aplicaciones más recientes de Sistemas Multiagente a la Cadena de Suministro.

Referencia	Aproximación/Aplicación
Guo <i>et al</i> (2004)	Enriquecimiento de un DSS
Carvalho y Custódio (2005)	Herramienta de optimización
Kozlak <i>et al</i> (2007)	Herramienta de simulación para afrontar situaciones críticas

Carvalho y Custódio (2005) modelan e implementan un MAS que supone una alternativa clara a las técnicas de optimización clásicas empleadas en la SC. Entre las funcionalidades de

este sistema se encuentran el empleo de heurísticas para la toma de decisiones, disponibilidad de múltiples estrategias y tácticas elegibles según las situaciones, así como distintos criterios, funciones de evaluación y comportamientos dinámicos.

Una arquitectura MAS y diversos métodos para la toma de decisiones inteligente en procesos logísticos es presentada por Guo *et al* (2004). Concretamente se propone la asistencia inteligente a la toma de decisiones en la SC, abordando la complejidad de los procesos que se producen en esta.

El aspecto novedoso de esta aproximación reside en que su funcionalidad no sólo se apoya en la información histórica, sino también en información relativa al contexto. La combinación de estas dos fuentes de conocimiento, historia y el denominado razonamiento situado, guarda relación con el concepto de “meta aprendizaje” en los MAS.

Kozlak *et al* (2007) presenta un MAS que puede utilizarse como herramienta de simulación y estudio de la SC para determinar la configuración óptima de la misma o la previsión, descubrimiento y toma de medidas de atajo ante situaciones críticas, entre otras tareas.

El MAS de principios genéricos se particulariza para estos estudios en una estructura con dos tipos de agentes (empresa y cliente) y un tercer elemento, tipo de producto.

### 2.3. Los Sistemas Multiagente y los sistemas de Transporte.

Una de las incursiones más frecuentes de los Sistemas Multiagente en el mundo de la industria es en los sistemas de apoyo a la toma de decisiones. Como razón básica, se puede argumentar la capacidad de adaptación y aprendizaje de los MAS. Pues como ya se ha dicho, a la hora de tomar una decisión, los agentes no sólo tienen en cuenta la información almacenada en las bases de datos sobre situaciones previas, sino que razonan apoyándose también en las características de la situación actual.

La aplicación de sistemas DSS se extiende a ámbitos tan diversos como la planificación de la producción, gestión de la SC o gestión de un sistema de transporte. Dentro de esta última línea los MAS se han empleado para ayudar a los gestores de red ante muy distintas situaciones, como muestra la Tabla 5.

**Tabla 5.** Ejemplos de aplicaciones más recientes de Sistemas Multiagente en sistemas de Transporte.

Referencia	Aproximación/Aplicación
Cuena y Ossowski (1999)	Gestión del tráfico rodado
Tomás y García (2005)	Gestión de incidentes meteorológicos
Böcker <i>et al</i> (2001)	Programaciones para acoplamiento de trenes
Zhou <i>et al</i> (2004)	Horarios para operaciones de mantenimiento de autobuses
Van Dam <i>et al</i> (2007)	Diseño de la red: localización <i>hub</i>

Cuena y Ossowski (1999) presentan una aplicación de los MAS para gestión del tráfico en la zona este de Madrid. Esta aplicación consiste en asignar un agente por cada una de las zonas problemáticas consideradas. Cada agente realiza tareas de abstracción de datos a partir de la información disponible, para así identificar posibles problemas a darse. El agente puede estimar los efectos de esos problemas y seleccionar planes de señalización que considere

adecuado. Para ellos, los agentes cubren áreas no necesariamente disjuntas, lo que les obliga a coordinar sus acciones y planes en pos del mejor funcionamiento global.

Otra aplicación de los MAS a la gestión del tráfico es la propuesta en (Tomás y García 2005). En este caso se propone un MAS prácticamente capaz de determinar qué acciones hacer, cuándo y quiénes están involucrados para la gestión de incidentes de tráfico. El MAS presentado es capaz de llevar a cabo las negociaciones oportunas para ello y ayudar a los gestores de carreteras a controlar el tráfico en caso de que un incidente meteorológico tenga lugar. Se muestra un ejemplo de aplicación en la A3 española.

Si bien la aplicación de los MAS ha sido más profusa en sistemas dedicados al tráfico rodado, esta también se ha extendido a otros ámbitos del transporte. Para el caso de los sistemas ferroviarios, la aplicación más habitual es para la generación de programaciones y horarios (Davidsson *et al* 2004).

Böcker *et al* (2001) proponen el empleo de MAS para la generación de programaciones (horarios) para un sistema de acoplamiento de trenes y compartición de vías.

Para el caso descrito en Zhou *et al* (2004), el sistema multiagente se usa para generar una programación de los trabajos de mantenimiento en una flota de autobuses. La optimización de la programación es alcanzada gracias a la actividad individual de cada agente y la cooperación entre todos ellos.

No obstante, el empleo de MAS puede remontarse a fases anteriores al funcionamiento o puesta en marcha del sistema de transporte, concretamente al diseño de la red. Así, Van Dam *et al* (2007) proponen el desarrollo de un modelo basado en agentes para evaluar la localización de un *hub* para transporte intermodal de mercancías relativo a carretera-ferrocarril. El modelo propuesto constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la localización de *hubs* teniéndose en cuenta una perspectiva integral de la situación, es decir, considerándose todos los factores y comunidades que influyen y se ven influidas por la localización de un nuevo *hub*.

### 3. Conclusiones

La presentación formal de los MAS en sí mismos, así como la revisión de múltiples aplicaciones de estos, han puesto de manifiesto cuáles son las características de los mismos y cómo es su funcionamiento.

A lo largo del documento se han revisado múltiples aplicaciones de los MAS en ámbitos de distinta naturaleza como la Gestión de la Producción, la Cadena de Suministro y el Transporte. Una de las áreas de mayor aplicación de los MAS es la de los DSS. Las razones que llevan al uso de los MAS en situaciones y problemas como los analizados son su capacidad para ejercer control distribuido, para manejar grandes cantidades de datos que pueden estar incompletas o ser distribuidas y, fundamentalmente, su capacidad para modelar o afrontar problemas complejos. La característica de distribución inherente a los MAS los hace especialmente adecuados a sistemas de naturaleza distribuida, pues permiten una aproximación y una implementación de estos últimos más sencilla. Entre las ventajas que estos enfoques ofrecen se encuentra el aumento de la eficiencia, la robustez y fiabilidad del sistema por realizar aproximaciones modulares a los problemas. De este modo, la dificultad de los mismos se ve reducida y el modelado de los problemas simplificado. Al mismo tiempo, se favorece la reutilización de los módulos desarrollados para nuevos problemas o situaciones

con características similares. De este modo se aprovecha la escalabilidad y flexibilidad del enfoque ofrecido por los MAS, empleados como herramienta de simulación, estudio y resolución de problemas. Otra característica que hace de los MAS una herramienta atractiva para situaciones como las planteadas es el hecho de que no sea necesaria la codificación inicial de todos los comportamientos, y circunstancias del entorno bajo estudio.

Todas estas características motivan y favorecen el uso de los MAS y de ahí la gran difusión de los mismos desde que surgieron en los años 80. No obstante, el uso exitoso de los mismos está sujeto a la presencia de ciertas características en los problemas objeto de estudio. Tal y como expuso Parunak (1999), los MAS resultan adecuados para entornos distribuidos, complejos y dinámicos, entre otras características, pues su aplicación se dificulta para entornos no descomponibles. Ha de tenerse en cuenta que el hecho de que los MAS sean dinámicos hace posible que se alcancen situaciones de inestabilidad. De igual modo, la distribución de los mismos impide o dificulta el disponer de una visión global del sistema, lo cual puede llevar a la no consecución del óptimo en la resolución de un problema.

Así pues, la aplicación de los MAS requiere de un estudio previo de la situación a la que se quiere aplicar, así como la consideración de las propiedades que el MAS a desarrollar debe tener, pues estas influyen fuertemente en los resultados que se van a obtener. No debe olvidarse que los MAS son un paradigma en pleno desarrollo actualmente, lo cual exige un esfuerzo de estudio, desarrollo de herramientas y simulaciones previo a su aplicación y que debe ser también tenido en cuenta como parte del esfuerzo del proyecto. Sin embargo, estas propiedades no le restan a los MAS su principal ventaja: la capacidad para afrontar problemas distribuidos en múltiples dimensiones y gestionar información de distinta naturaleza, incompleta o incluso incierta, frente a herramientas clásicas de perspectiva centralizada.

## Referencias

- Baillet, P.; Cauvin, A. (1995). "Proposal of a model of behaviour for reactive scheduling systems". *IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation*, Vol. 1, pp. 649-657.
- Böcker, J.; Lind, J.; Zirkler, B. (2001). "Using a multi-agent approach to optimise the train coupling and sharing system". *European Journal of Operational Research*, 134:242-252.
- Caridi, M.; Cavalieri, S. (2004). "Multi-agent systems in production planning and control: an overview". *Production Planning & Control*, 15(2):106-118.
- Carvalho, R.; Custódio, L. (2005). "A Multiagent Systems Approach for Managing Supply-Chain Problems: new tools and results". *Inteligencia Artificial*, 9(25):79-88.
- Cuena, J.; Ossowski, S. (1999). "Distributed Model for Decision Support". En G. Weiss (ed.), *Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. The MIT Press.
- Davidsson, P.; Henesey, L.; Ramstedt, L.; Törnquist, J.; Wernstedt, F. (2004). "Agent-Based Approaches to Transport Logistics". *Proceedings of the 3rd International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems AAMAS 2004*.

- Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems, An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley.
- Fox, M.S.; Barbuceanu, M.; Teigen, R. (2000). "Agent-Oriented Supply Chain Management". *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 12:165-188.
- Fox, M.S.; Chionglo, J.F.; Barbuceanu, M. (1993). "The Integrated Supply Chain Management System". *Internal Report*. Dept. of Industrial Engineering, University of Toronto.
- Guo, Y.; Müller, J. P.; Bauer V. (2004). "A Multiagent Approach for Logistics Performance Prediction Using Historical and Context Information". *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*.
- Kozlak, J.; Dobrowolski, G.; Nqwqrecki, E. (2007). "Agent-Based Modeling of Supply Chains in Critical Situations". *Lecture Notes in Computer Science*, 4488:944-951.
- Jennings, N.R.; Sycara, K.; Wooldridge, M. (1998). "A roadmap of agent research and development". *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1:7-38.
- Larrañeta, J.C.; Onieva, L.; Lozano, S. (1988). *Métodos modernos de gestión de la producción*. Alianza Editorial, S.A.
- Lima, R.M.; Sousa, R.M.; Martins, P.J. (2006). "Distributed production planning and control agent-based system". *International Journal of Production Research*, 44(18):3693-3709.
- Mahesh, M.; Ong, S.K.; Nee, A.Y.C.; Fuh, J.Y.H.; Zhang, Y.F.; (2007). "Towards a generic distributed and collaborative digital manufacturing". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(3):267-275.
- McKay, K.N.; Black, G.W. (2007). "The evolution of a production planning system: A 10-year case study". *Computers in Industry*, 58(8):756-771.
- Moyaux, T.; Chaib-draa, B.; D'Amours, S. (2006). "Supply Chain Management and Multiagent Systems: An overview". En [B. Chaib-draa](#) and [J. P. Müller](#) (eds.), *MultiAgent-Based Supply Chain Management*. [Springer](#).
- Muckstadt, J.A.; Murray, D.H.; Rappold, J.A.; Collins, D.E. (2001). "Guidelines for Collaborative Supply Chain System Design and Operation". *Information Systems Frontiers*, 3(4):427-453.
- Oliveira, E.; Fischer, K.; Stepankova, O. (1999). "Multiagent Systems: Which Research for which Applications". *Robotics and Autonomous Systems*, 27(1):91-106.
- Parunak, H.V.D. (1999). "Industrial and Practical Applications of DAI". En G. Weiss (ed.), *Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, pp. 377-421. The MIT Press.
- Sadeh, N.M.; Hildum, D.W.; Kjenstad, D.; Tseng, A. (1999). "MASCOT: An Agent-Based Architecture for Coordinated Mixed-Initiative Supply Chain Planning and Scheduling". *Workshop on Agent-Based Decision Support in Managing the Internet-Enabled Supply-Chain (Agents '99)*.

Strader, T.J.; Lin, F.; Shaw, M. J. (1998). "Simulation of Order Fulfillment in Divergent Assembly Supply Chains". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1(2).

Tchikou, M.; Gouardres, E. (2003). "Multi-agent Model to Control Production System: A Reactive and Emergent Approach by Cooperation and Competition between Agents". *Third International Symposium on Multi-agent Systems, Large Complex Systems and E-Businesses (MALCEB 2002)*.

Tomás, V.R.; García, L.A. (2005). "A Cooperative Multiagent System for Traffic Management and Control". *Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Autonomous agents and multiagent systems*.

Van Dam, K. H.; Lukszo, Z.; Ferreira, L.; Sirikijpanichkul, A. (2007). "Planning the Location of Intermodal Freight Hubs: an Agent Based Approach". *Proceedings of the 2007 IEEE Conference on Networking, Sensing and Control*.

Zhou, R.; Fox, B.; Lee, H. P.; Nee, A. Y. C. (2004). "Bus maintenance scheduling using multiagent systems". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17:623-630.