

Situación actual y expectativas de los sistemas de fabricación basados en agentes

Araújo Araújo, José Alberto ¹, de Benito Martín, Juan José ²,
del Olmo Martínez Ricardo³, Sanz Angulo, Pedro Alberto ⁴

¹ Ingeniero Industrial, ETSII. de la UVA, Paseo del Cauce s/n 47011 Valladolid, arauzo@eis.uva.es

² Dr. Ingeniero Industrial, ETSII. de la UVA, Paseo del Cauce s/n 47011 Valladolid, debenito@eis.uva.es.

³ Dr. Ingeniero Industrial, EPS. de la UBU, Avenida Santander s/n 09006 Burgos, rdelolmo@ubu.es.

⁴ Ingeniero Industrial, ETSII. de la UVA, Paseo del Cauce s/n 47011 Valladolid, psangulo@eis.uva.es

Resumen

La planificación, programación y control de la producción es un campo de estudio en continua evolución. Prueba de ello es la gran cantidad de siglas como MRP, OPT, JIT o CIM, que han aparecido en las últimas décadas y que están relacionadas con la gestión de los sistemas productivos. Las condiciones cada vez más exigentes del entorno y el rapidísimo ritmo de innovación tecnológica, obligan a las empresas de fabricación a disponer de sistemas de fabricación cada vez más flexibles, adaptables y robustos. Ante esta situación no es de extrañar, que nuevos paradigmas de fabricación estén apareciendo en la literatura especializada. Uno de ellos es la fabricación basada en agentes. En este artículo se pretende exponer sus orígenes, su estado actual y sus expectativas futuras.

Palabras claves: sistema multiagente, dirección de operaciones, planificación, programación, control, sistema de fabricación.

1. Introducción

Por todos es conocida la complejidad propia de los sistemas productivos. Están formados por un alto número de elementos de características muy dispares, que al actuar conjuntamente consiguen el objetivo del sistema: realizar productos que satisfagan las necesidades del mercado. La eficacia de estos sistemas se debe fundamentalmente a un efecto sinérgico, de forma que la cooperación de los elementos individuales influye decisivamente en la eficiencia global. Por lo tanto la definición de las relaciones entre las partes, orientada a la consecución de una adecuada coordinación, es la clave del éxito del sistema de operaciones.

Durante la última mitad del siglo XX la producción de bienes ha evolucionado desde sistemas de fabricación en masa hacia la fabricación basada en la variedad. Tanto es así que en muchos sectores se tiende hacia la elaboración de lotes unitarios completamente personalizados a gusto del consumidor. Y todo ello, en una situación histórica donde la tecnología avanza tan rápidamente que la obsolescencia de productos y equipos es un hecho habitual. Un sistema productivo que pretenda ser competitivo en este entorno tiene que poseer ciertas características, que en otras condiciones no eran tan importantes. Aspectos como flexibilidad, adaptabilidad y rapidez de respuesta han pasado de ser aspectos deseables, a convertirse en la clave del éxito de muchas empresas.

Si la gestión de los sistemas productivos ha sido tradicionalmente una tarea difícil, las condiciones actuales lo complican aun más. Ante esta situación, no es de extrañar la continua aparición de nuevos paradigmas en la gestión de la producción. Aunque en algunos casos estos paradigmas han significado una auténtica revolución, existen configuraciones productivas caracterizadas por una producción muy individualizada, donde estas técnicas aun no han dado los frutos deseados.

2. De la gestión centralizada a la autoorganización y la gestión horizontal

Si se analizan los principios básicos de los filosofías de gestión de la producción que han ido apareciendo, se puede observar una clara tendencia hacia la autoorganización y la gestión horizontal. El marcado enfoque jerárquico de los sistemas MRP se ha ido sustituyendo por formulas menos jerarquizadas. Este es el principio del sistema KANBAN del JIT donde el flujo de información en la propia planta asegura la correcta coordinación de los recursos productivos.

En los últimos años muchos trabajos proponen nuevas formas de gestión de los sistemas productivos que explotan aun más esta idea. Inspirados en la teoría de sistemas complejos y en la organización de sistemas naturales como sociedades humanas, enjambres de insectos o seres vivos, aparecen nuevos paradigmas de fabricación. “Sistemas de Fabricación Holónicos”, “Sistemas de Fabricación Biónicos”, “Fabricación Fractal” o “Fabricación Basada en Agentes” son algunos de los más referenciados (Tharumarajah 1998).

Uno de estos nuevos paradigmas es la fabricación biónica. Está inspirada en la organización de los seres vivos. En estos, el funcionamiento del sistema no es igual en condiciones de estabilidad que ante situaciones imprevistas. En el primer caso el control del organismo se realiza fundamentalmente mediante planificación, pasando a comportamientos más espontáneos en condiciones extremas. Este cambio esta regulado por encima que influyen en el funcionamiento de todos los elementos del sistema. Algunos autores han propuesto aplicar esta idea a los sistemas de fabricación, de forma que la estructura del sistema de control de planta y los comportamientos de cada controlador cambie en función de las condiciones globales de operación.

A juzgar por la literatura, los sistemas de fabricación holónicos son los que más interés han despertado en los últimos años. Su fuente de inspiración es la organización de los sistemas observados en la naturaleza (sociedades humanas y animales, seres vivos, etc) (Tiwari 2002). Están compuestos por unas unidades más o menos autónomas denominadas holones. Estos poseen cierto grado de independencia y capacidad de decisión ante ciertas contingencias, de forma que no necesitan solicitar instrucciones a una autoridad superior. Simultáneamente están sujetos al mando múltiple de autoridades superiores. La primera propiedad asegura a los holones adaptabilidad y rapidez de respuesta mientras que la segunda hace que mantengan la funcionalidad apropiada dentro del todo más grande. De esta forma, los sistemas constituidos por holones combinan los mejores rasgos de las organizaciones jerárquicas y de las horizontales.

Aunque estos sistemas se inspiren en diferentes modelos, todos ellos tienen algo en común: El correcto funcionamiento del sistema emerge de la interacción entre sus elementos, los niveles jerárquicos no tienen por que existir y en el caso de que existan pueden evolucionan en el tiempo, de forma que las relaciones de autoridad son fruto de la interacción entre las partes. Estos aspectos son los que unen estos paradigmas de fabricación con los sistemas multiagente,

los cuales no son en si mismos una forma de organización. Son más bien una técnica que permite construir sistemas informáticos, que implementan las ideas anteriores.

3. La tecnología de agentes software y los campos de aplicación

La tecnología multiagente constituye un conjunto de técnicas informáticas derivadas de la inteligencia artificial distribuida, que facilitan la elaboración de software muy modular. El concepto básico del que parten estas técnicas es el de agente software. Consiste en una entidad autónoma, con comportamientos reactivos y proactivos, que además pueden interactuar con otros agentes mediante el paso de mensajes. Ejemplos conocidos de agentes pueden ser los virus informáticos o el clic de Microsoft Windows (Wooldridge 1995).

La posibilidad de interacción entre agentes convierte a estas entidades en un concepto muy interesante a la hora de desarrollar sistemas informáticos distribuidos. Estos sistemas estarán formados por varios agentes, que interactuarán entre sí de forma que juntos alcanzan la funcionalidad deseada. Funcionalidad que esta fuera de las posibilidades de cada agente individual (Figura 1). A estos sistemas se los denomina Sistemas Multiagente (MAS *Multi Agent Systems*) y serán adecuados para solucionar problemas para los que hay múltiples métodos de resolución y/o múltiples entidades capaces de trabajar conjuntamente para solucionarlos (Sycara 1998).

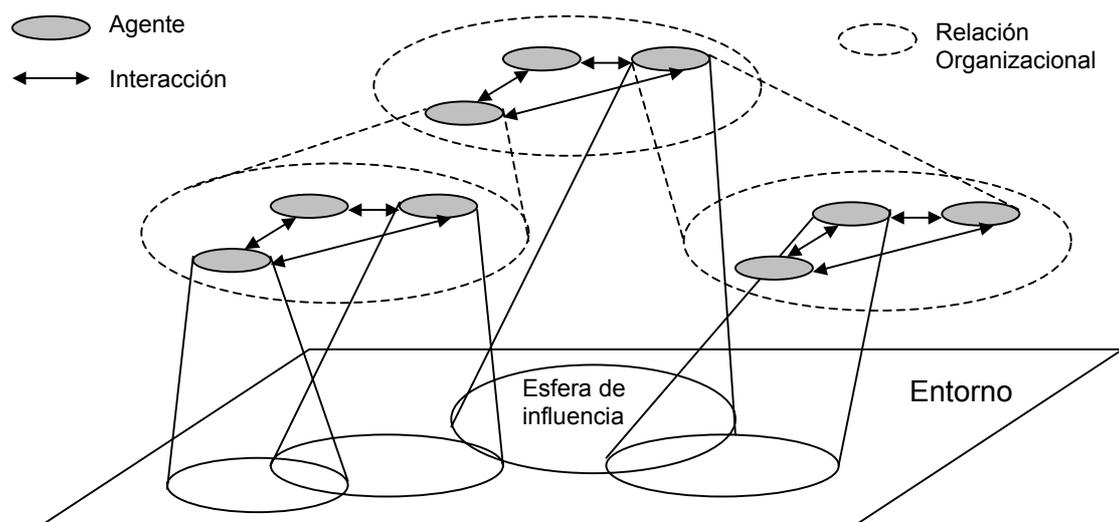


Figura 1. Representación de un sistema multiagente.

Muchos investigadores han puesto en ellos muchas esperanzas y han comenzado a utilizarlos para resolver problemas para los que hasta el momento no existían soluciones definitivas. Entre estos problemas destacan sobre todo aquellos referentes a sistemas complejos, abiertos y ubicuos. Se pueden encontrar aplicaciones en campos tan dispares como interfaces de usuario, telecomunicaciones, Internet, ocio, simulación social, sistemas móviles, servicios médicos o industria (Jennings 1998).

Las características de los entornos empresariales (distribuidos, heterogéneos, complejos, abiertos, dinámicos, etc) y sus necesidades (agilidad, tolerancia a fallos, interoperatividad, etc) parecen corresponderse muy bien con las características de problemas en los que las soluciones basadas en agentes pueden aportar bastantes ventajas. Esto hace que en la actualidad muchos investigadores, laboratorios, instituciones y empresas están trabajando con

ellos en integración empresarial, gestión de empresas, gestión de datos, simulación de procesos productivos, integración de la cadena de suministros, gestión de empresas virtuales, control de sistemas distribuidos, o integración del diseño y fabricación (Parunak 1998).

4. Aspectos importantes del desarrollo de sistemas multiagente

Para poder describir la situación actual de los sistemas de fabricación basados en agentes, conviene precisar más concretamente, cuales son los aspectos claves que hay que especificar al desarrollar sistemas multiagente. Más adelante trataremos, cual son las soluciones aportadas hasta la fecha y cuales son los problemas existentes respecto a estos aspectos, en el campo que nos ocupa (Araújo 2003).

4.1. Aspectos generales

Las primeras cuestiones que se deben tratar se refieren a las características que deben poseer los agentes. La literatura sobre sistemas multiagente propone tres soluciones básicas, descritas generalmente como “*arquitecturas del agente*”. Estas son: deliberativas, reactivas y híbridas. Las primeras se corresponden a la aproximación clásica de la inteligencia artificial basada en el conocimiento y se caracterizan por que el conocimiento que el agente posee del entorno esta basado en representaciones simbólicas. El agente utiliza este modelo como base para la elaboración de todos los planes y acciones a través de unas reglas deductivas. Por otro lado están las arquitecturas reactivas basadas en comportamientos. En éstas en lugar de modelos, es el propio entorno el que proporciona al agente cualquier información necesaria. Estas arquitecturas no son incompatibles, por lo que se pueden fusionar en arquitecturas que comparten aspectos de las dos y que se suelen denominar híbridas.

Además de establecer la arquitectura de los agentes que intervienen en el sistema, habrá que concretar las relaciones que se establecen entre ellos. Estos aspectos están descritos como “*arquitecturas del sistema multiagente*”. De forma genérica se distinguen dos: sistemas de pizarra y sistemas basados en envío de mensajes. En los primeros no hay una comunicación directa entre agentes la interacción se realiza accediendo a una zona de trabajo común que permite a los agentes compartir todo tipo de información. En los segundos un agente emisor envía un mensaje a uno o más agentes receptores, solicitando un determinado servicio. A diferencia de la arquitectura de pizarra, los agentes deben mantener conocimiento sobre su entorno para saber a qué agentes deben dirigir sus mensajes. Para solucionar esto en este tipo de sistema suelen existir una serie de agentes que según sus características pueden ser “*facilitadores*”, “*mediadores*” o “*brokers*”. Estos poseen información sobre los integrantes del sistema y la comparten con el resto cuando la necesitan. Existen Numerosos sistemas multiagente han adoptado esta forma de comunicación ya que es un sistema más flexible que la pizarra.

Para que el intercambio de información entre agentes se produzca de forma eficiente es necesario que los mensajes sean interpretables por los agentes que participan en la comunicación. Para ello se necesita de tres elementos clave: protocolos de comunicación, una ontología compartida y un formato del contenido de la comunicación común que se definirá mediante un lenguaje de comunicación entre agentes.

Los “*protocolos de comunicación*” permiten la coordinación y negociación de los agentes, definiendo la estructura de la conversación. De esta forma se pueden establecer protocolos para solicitar información, solicitar la realización de una acción, contratar un servicio, etc.

Las “*ontologías*” se definen como esquemas que describen conceptos y las relaciones que hay entre ellos. Es importante que las ontologías con las que los agentes conceptúan un determinado dominio sean similares. Esto garantizaría la misma interpretación del contenido del mensaje por los agentes implicados en la comunicación.

Los mensajes que se envían los agentes no solo portan el contenido que se desea comunicar. Para asegurar una comunicación eficiente el mensaje debe incluir otros datos como el nombre del agente emisor, el del receptor, el protocolo de comunicación empleado, la ontología con la que se ha especificado los contenidos, etc. Para que los agentes puedan interpretar la información, esta debe estar estructurada según un determinado formato. Estos formatos están definidos por los “*leguajes de comunicación*” entre agentes.

4.2. Estándares, metodologías y plataformas de desarrollo

Los primeros desarrolladores de sistemas multiagente se encontraban ante una tecnología difusa, sin una teoría ampliamente aceptada, sin especificaciones que uniformaran las soluciones y sin herramientas de apoyo. Actualmente la situación es muy diferente. La teoría parece perfilarse en muchos aspectos, existe algunos estándares bastante aceptados y se dispone de un conjunto bastante numeroso de herramientas de desarrollo.

Un “*estándar*” es un conjunto de especificaciones que describen como abordar ciertos aspectos a la hora de desarrollar el sistema. En el caso de los MAS podrán ser: arquitecturas, movilidad, formato de mensajes, definición de ontologías, etc. Si los sistemas se elaboran de acuerdo a estas especificaciones se facilitará la interoperabilidad entre ellos, la reutilización de sus componentes y sobre todo la comprensión del sistema por otros desarrolladores.

Las “*metodologías*” pueden definirse, en un sentido amplio, como un conjunto de métodos o técnicas que ayudan en el desarrollo de un producto software. Pueden abarcar todos aspectos de la ingeniería de software, aunque en la mayoría de los casos se queden en el análisis y el diseño. Las principales actividades de una metodología serán básicamente la definición y descripción del problema, la construcción de la solución y la comprobación de su funcionamiento.

Además de los estándares y metodologías los investigadores de sistemas multi-agentes han elaborado “*plataformas*” que permiten desarrollar software adaptado a este paradigma. En algunos casos incluyen todos los aspectos del desarrollo que van desde el análisis a la implementación y en otros solo la implementación.

4.3. Aspectos de diseño

Si se pretende diseñar un sistema basado en agentes, que cumpla con un objetivo determinado, lo primero que habrá que concretar son los “*modelos de agentes*” (características de cada tipo de agente, instancias, etc.) y el “*modelo de la sociedad de agentes*” (relaciones estructurales y relaciones entre agentes). Este es el objetivo básico de todos los métodos que se han propuesto para diseñar sistemas multiagente y es independiente de la teoría aceptada o lenguaje de programación utilizado.

Aunque en la actualidad se dispone de varias propuestas de metodologías de ingeniería de software para el análisis y diseño de sistemas multi-agente, el uso de estas no es práctica

habitual en los trabajos orientados al control de planta. Aun así, y pese a que por lo general no se utiliza una nomenclatura estándar, en la mayoría de trabajos quedan muy claros los dos aspectos citados anteriormente.

5. Estado actual de los sistemas de fabricación basados en agentes

El objetivo de ese artículo es describir brevemente la situación actual de los sistemas de fabricación basados en agentes. Para ello comentaremos las soluciones que han se han propuesto, en diferentes trabajos revisados por nosotros, a los aspectos claves de los sistemas multiagente comentados en el apartado anterior.

5.1. Aspectos generales

La primera cuestión que analizaremos es el tipo de arquitectura de agente y del sistema, que se suele usar en estos trabajos. La arquitectura de agente más utilizada es sin lugar a duda la reactiva. Esta suele ser más fácil de implementar que las deliberativas, y además se adaptan bien a las características de los sistemas de fabricación. En cuanto a la arquitectura del sistema es más difícil sacar una conclusión. La mayor parte de la documentación revisada no aporta datos suficientes. Aún así la tendencia general, a la hora de desarrollar sistemas multiagente es la arquitectura basada en el intercambio de mensajes.

Para que el intercambio de mensajes sea eficiente conviene establecer protocolos, lenguajes y ontologías. En cuanto a protocolos si que existe bastante acuerdo. La gran inmensa mayoría de los trabajos proponen el “*contract-net protocol*” para acordar la ejecución de tareas entre diferentes agentes. No sucede lo mismo con la ontología y los leguajes de comunicación. Algunos trabajos (los más actuales) usan lenguajes estándar como XML o FIPA-ACL, pero lo cierto es que pocos hacen referencia a ello o prefieren definir su propio lenguaje de comunicación . Sobre la definición de ontologías la bibliografía es más oscura aun. En la actualidad se esta realizando cierto esfuerzo internacional para definir una ontología genérica que sirva para intercambiar información en cualquier entorno productivo (ejemplo: PSL), pero no se ha encontrado aplicaciones multiagente que las utilicen.

5.2. Estándares, metodologías y plataformas de desarrollo

En la actualidad existen bastantes herramientas, elaboradas para desarrollar sistemas multiagente que permiten facilitar el desarrollo, mejorando además la funcionalidad del software desarrollado. Sin embargo, si se revisan los trabajos de sistemas de fabricación basados en agentes la mayoría de ellos se han realizado en su mayoría mediante herramientas tradicionales como C++, Java, Lisp, Smalltalk o facilidades CORBA. La razón de este proceder radica en que los proyectos de sistemas de fabricación basados en agentes suelen ser de bastante duración, por lo que en su comienzo las herramientas actuales, aun no estaban lo suficientemente desarrolladas o difundidas. Los mismo sucede con los estándares y las metodologías.

Se debe destacar que en estos momentos están comenzado a aparecer trabajos, que usan herramientas específicas. Así se pueden encontrar trabajos que se basan en el estándar FIPA, y usan plataformas de desarrollo como JADE o ZEUS.

5.3. Aspectos de diseño

Sin duda alguna los aspectos más interesantes de los sistemas de fabricación basados en agentes radican en su diseño. Como se ha comentado anteriormente, este se puede concretar someramente mediante los modelos de agente y el modelo de la sociedad de agentes. En las siguientes líneas se describen las ideas más relevantes aportadas sobre estas cuestiones.

5.3.1. Modelos de agente

Desde el punto de vista clásico de la ingeniería de software, los sistemas se estructuran en módulos mediante una descomposición funcional. Según esta idea, los sistemas de información de las empresas manufactureras se descomponen en módulos dedicados a funciones como mantenimiento, programación de tareas (*scheduling*), gestión de materiales o diseño. Esta descomposición funcional puede servir para identificar agentes que realizan determinadas tareas.

La descomposición funcional satisface correctamente las necesidades de los sistemas centralizados, pero no se corresponde totalmente con las estructuras de los sistemas naturales, donde los agentes se suelen corresponder más con entidades físicas, que con abstracciones funcionales. Los trabajos de desarrollo de sistemas multi-agente para el control de planta apuntan más en esta última dirección. Si la descomposición fuera funcional, el agente asociado a una determinada función necesitaría un conocimiento bastante detallado de las entidades físicas del resto del sistema, para poder realizar su función. Si los elementos físicos se modifican, el agente funcional deberá conocer las nuevas características del sistema, para poder seguir operando satisfactoriamente.

Según esta idea, la descomposición del sistema en agentes físicos, parece ser la solución más recomendable para conseguir sistemas flexibles y adaptables. Aun así, existe una excepción a esta regla, los módulos heredados (sistemas de planificación como el MRP o de diseño como los sistemas CAD), pueden ser integrados en el sistema como un agente caracterizado precisamente por su función, no por su correspondencia física con algún elemento del sistema de fabricación.

Casi la totalidad de trabajos revisados (incluyendo los referentes a la fabricación holónica), se corresponden con la idea de descomposición física y proponen dos tipos de agentes físicos básicos: agentes producto u orden y agentes recurso. Son agentes con información local del elemento que representan y no necesitan de mucho conocimiento del resto del sistema para realizar sus tareas. Los “*agentes orden*”, representan los pedidos que hay que fabricar. Son creados cuando se genera un nuevo pedido y poseen la información de este: fecha de entrega, ítems a fabricar, operaciones necesarias para realizar los ítems, restricciones en el orden de realización de las operaciones, etc. Los “*agentes recurso*” representan los elementos del sistema productivo y como en el caso de los “*agentes orden*” poseen información local del elemento que representan. Dependiendo del sistema de fabricación se pueden encontrar diferentes tipos: máquinas, elementos de transporte, operarios, materia prima, manipuladores de materiales, almacenes locales, sistemas de control de calidad, etc. Dado que las máquinas son elementos imprescindibles de todo sistema de fabricación, este agente aparece en todas las propuestas. Se corresponden con un centro de procesamiento de materiales, poseen la información referente a éste y controla la ejecución de sus actividades.

5.3.2. Modelos de la sociedad de agentes

A la hora de establecer las relaciones entre agentes las propuestas no son tan homogéneas como, al establecer los tipos de agentes. Después de la revisión realizada de la literatura se pueden diferenciar claramente dos tipos de sociedades de agentes de fabricación: sistemas con agentes programadores y sistemas sin agentes programadores. La existencia o no de este tipo de agentes marca el carácter jerárquico del sistema y por lo tanto las relaciones entre sus componentes (Shen 2002).

- **Sistemas con agentes programadores**

Existe un agente funcional que realiza la programación de operaciones necesarias para conseguir la producción de los pedidos pendientes de fabricar. En estos sistemas los “agentes orden” solicitan al “agente programador” su fabricación. Este último solicita a los “agentes recurso” datos sobre sus capacidades y disponibilidad, y con ellos elabora un programa de fabricación. Según este programa, se envían las diferentes instrucciones a los “agentes recurso” para que operen.

Los sistemas de fabricación están sometidos a continuos imprevistos que invalidan los programas realizados. Algunas veces existen pequeñas perturbaciones que no justifican una reprogramación ya que con pequeños ajustes realizados por los “agentes recurso” del sistema es suficiente para continuar con las actividades. Para que esto sea posible, estos agentes deben poseer cierta autonomía del agente programador. Las instrucciones de este último serán solo un consejo, que en algunas ocasiones será conveniente seguir y en otras no.

- **Sistemas sin agentes programadores**

En estos, el sistema no se estructuran según una jerarquía y el programa de actividades emerge de la interacción entre los “agentes orden” y los “agentes recurso”. El diseño de estas interacciones entraña una dificultad: hay que conseguir, el cumplimiento de objetivos globales. Además serán preferibles aquellos esquemas que cumplan los siguientes criterios [Baker 1998].

- ✓ Distribución balanceada: serán preferentes aquellos mecanismos de interacción que distribuyan las necesidades de cálculo de forma equitativa entre diferentes agentes.
- ✓ Correspondencia física: los algoritmos que distribuyan el cálculo en entidades que se correspondan con elementos físicos serán más adecuados. Esto se corresponde con la idea de descomposición según elementos físicos vista anteriormente. De esta forma se consigue además, que las necesidades de cálculo crezcan a la vez que el número de agentes del sistema.
- ✓ Crecimiento escalable: al crecer el número de elementos del sistema aumenta las posibilidades de secuenciación de las actividades, por lo que también aumenta las necesidades de cálculo. Los algoritmos ideales serán aquellos en los que el incremento de las necesidades de cálculo es proporcional al crecimiento del sistema, de forma que la cantidad de cálculo por agente es siempre constante. Este será un criterio de difícil cumplimiento.

Sistemas de negociación basados en algoritmos de lanzamiento, en sistemas KANBAN o en sistemas de mercado, parecen bastante adecuados para implementarse en este tipo de sistemas multiagente. Los más referenciados en la literatura son sin lugar a duda los sistemas basados en algoritmos de lanzamiento. Consisten en un criterio de decisión mediante el cual los “agentes máquina” seleccionan una operación a realizar, de entre todas las solicitadas por los “agentes orden” que necesitan ser fabricados. Una vez tomada la decisión, no se vuelve a reconsiderar. Los diferentes algoritmos de lanzamiento se caracterizan por el criterio de decisión utilizado para seleccionar operación: la más urgente, la de mayor duración, etc. Estos algoritmos cumplen bastante bien los tres criterios de evaluación anteriores y además se pueden implementar fácilmente en sistemas multiagente no jerárquicos mediante el “*contract-net protocol*”. Son algoritmos simples y rápidos pero tienen la desventaja de no asegurar secuencias de fabricación muy eficientes. Su uso está recomendado en sistemas muy dinámicos, donde los pedidos llegan de forma aleatoria y la disponibilidad de las máquinas es bastante impredecible.

6. Cuestiones no resueltas

Los sistemas de fabricación basados en agentes es una tecnología incipiente, bastante prometedora pero sin resultados definitivos. Aún quedan muchos problemas por resolver y la verdad es que pocos de estos sistemas se han implementado en sistemas de fabricación reales.

El primer problema surge de la propia tecnología base. Aunque el paradigma multiagente ha experimentado en los últimos años un notable avance, aun no están cerradas muchas cuestiones. Prueba de ello es la continua aparición y desaparición de metodologías y plataformas de desarrollo. Esto implica trabajar con herramientas en continua evolución que en muchos casos pueden quedar obsoletas.

Para desarrollar agentes que puedan comunicarse completamente con otros, sería deseable disponer de ontologías estándar. De esta forma diferentes grupos de investigación podrían desarrollar agentes compatibles entre sí. Además dentro de cada investigación no sería necesario definir ontologías propias, por lo que se podría concentrar los esfuerzos en la investigación sobre las interacciones entre agentes. En la actualidad existe algún esfuerzo bastante prometedor en este aspecto, pero aún no se ha llegado a un estándar ampliamente aceptado.

El siguiente aspecto aún no resuelto se refiere a la organización de la sociedad de agentes. Este es una cuestión que ha sido objeto de continuas publicaciones desde que en los primeros años de la década de los 90 se comenzó a aplicar la idea del protocolo de red de contrato. Actualmente siguen apareciendo publicaciones, que proponen diferentes mecanismos de negociación entre los agentes integrantes del sistema. Se basan en diferentes técnicas: algoritmos de secuenciación clásicos implementados de forma distribuida, combinación de relaciones jerárquicas con relaciones transversales, mecanismos de mercado, etc. Las propuestas basadas en sociedades jerárquicas, basadas en técnicas clásicas de optimización logran una mejor eficiencia del sistema en condiciones de estabilidad, pero como contrapartida son poco flexibles y robustas. Con las propuestas no jerárquicas (heterárquicas), ocurre lo contrario: son flexibles, robustas, funcionan bien en condiciones dinámicas, pero tienen dificultades a la hora de optimizar el sistema. Dada esta situación algunos autores proponen, arquitecturas mixtas como solución al problema, pero aún así sigue siendo un campo de investigación muy abierto.

Como último aspecto no resuelto, quisiéramos comentar la aplicación real de estas ideas sobre sistemas de fabricación físicos. Lógicamente éste es el objetivo final de todas las investigaciones. En la actualidad pocos sistemas de este tipo se han probado sobre sistemas reales, ya que primero sería conveniente solucionar los problemas tratados anteriormente. Aún así, si que hay algunos sistemas implementados sobre sistemas de fabricación reales, que son interesantes ya que pueden descubrir nuevos problemas que solucionar.

7. Conclusiones

La tecnología basada en agentes, parece prometedora para desarrollar sistemas software, que solucionen algunos problemas, que hasta el momento no han sido resueltos con de forma satisfactoria. Sistemas abiertos, complejos y ubicuos, pueden por fin ser tratados con una técnica que parece adaptarse a sus características. Sistemas distribuidos, con elementos dispersos por naturaleza que además están fuertemente interrelacionados, disponen ahora de una técnica que simplificará su tratamiento.

Ante estas cualidades de los sistemas multiagente, su difusión y aplicación es amplia. Raro es el campo que presente alguna de las características anteriores, donde no se ha propuesto una solución basada en agentes. El control de los sistemas de fabricación, un problema difícil de resolver, parece encajar perfectamente dentro de las posibles aplicaciones donde los agentes aportan bastantes ventajas.

Revisando la literatura de sistemas de fabricación basados en agentes, se aprecian aspectos comunes en los que todos los investigadores coinciden y aspectos en los que las propuestas siguen apareciendo aun en el momento actual. Existen muchas cuestiones sin resolver, pero a juzgar por la evolución observada en los últimos años, parece un campo de investigación prometedor.

Referencias

- Arauzo J.A. (2003). Sistemas multiagentes para el control de plantas de fabricación. Trabajo para la obtención de la suficiencia investigadora. *Departamento de Informática, Universidad de Valladolid*.
- Jennings, N.R. and Wooldridge, M.J (1998). Applications of Intelligent Agents. Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets, Springer.
- Parunak, H.V.D. (1998). Practical and Industrial Applications of Agent-Based Systems. *Environmental Research Institute of Michigan (ERIM)*.
- Shen D. (2002). Distributed Manufacturing Scheduling Using Intelligent Agents. *IEEE Intelligent Systems*. 1094-7167/2 pp 88-89.
- Sycara, K.P (1998). Multiagent Systems. AI magazine Volume 19, No.2 Intelligent Agents
- Tharumarajah, A. Wells A.J, Nemes, L. (1998). Comparison of Emerging Manufacturing Concepts. *CSIRO Manufacturing Science & Technology*, Preston, Victoria, Australia.
- Tiwari, M. K. and Samrat M. (2002). Application of an Autonomous Agent Network to Support the Architecture of a Holonic Manufacturing System. *Int. J Adv. Manuf. Technol.* (2002) 20 pp:931–942.
- Wooldridge M., Jennings, N.R (1995). Intelligent Agents: Theory and Practice. *The Knowledge Engineering Review*. Nº 10, 2, pp. 115-152.