

# Aplicación del paradigma de los Agentes Inteligentes a los sistemas de producción.

Ernesto Pérez Alvarez<sup>1</sup>, José Ignacio Bautista Marañón<sup>1</sup>, José Manuel Pérez Ríos<sup>2</sup>  
Departamento de Organización y Gestión de Empresas

<sup>1</sup>E.U. Politécnica, <sup>2</sup>E.T.S.I. Informática

Universidad de Valladolid

[ernesto@sid.eup.uva.es](mailto:ernesto@sid.eup.uva.es), [jignacio@sid.eup.uva.es](mailto:jignacio@sid.eup.uva.es), [rios@sid.eup.uva.es](mailto:rios@sid.eup.uva.es)

## RESUMEN

*La globalización de la economía, la rapidez de la evolución tecnológica y la exigencia de calidad por parte de los clientes, no sólo en el ámbito de las prestaciones, sino también en costes y plazos de producción, están trayendo como consecuencia que los estilos tradicionales de gestión empresarial se vean desbordados, ya que su concepción impide que tales sistemas se adapten a las necesidades rápidamente cambiantes que se derivan de la nueva economía. Aquí es donde la tecnología de los agentes inteligentes proporciona una manera natural de superar tales problemas, y un modo de diseñar e implementar entornos de producción distribuidos inteligentes dotados de una mayor flexibilidad.*

*En este trabajo, se expone una introducción al tema de los agentes inteligentes, mostrando cuales son las posibilidades que nos ofrecen y cual es el estado de desarrollo en que se encuentran en la actualidad, focalizándolo hacia las aplicaciones empresariales, especialmente en los sistemas de producción. Asimismo, se hará referencia a algunas de las aplicaciones que están actualmente en funcionamiento en ese sentido.*

## 1.- Introducción

Cuando se trata el tema de los agentes inteligentes y los sistemas inteligentes, que es sobre el que versa el presente trabajo, sería conveniente mirar hacia atrás para ver qué es lo que ha dado origen a este nuevo paradigma.

Así pues, se ha estado tratando desde años atrás el tema de la inteligencia artificial (en adelante IA), en el cual se ha venido evolucionando muy rápidamente, tal vez debido a que se trata de una técnica totalmente nueva y sobre la que hay mucho aún por hacer. Ahora bien, la primera cuestión a la que se enfrenta el investigador sería ¿qué es la IA? La IA se podría definir sobre la base de su objetivo final que es el de obtener sistemas racionales que actúen del mismo modo a como lo haría la persona a la cual están sustituyendo. Este punto de vista dará origen posteriormente a una modelización de los agentes inteligentes sobre la base de un modelo humano [1]. De este modo, se podría decir que la inteligencia artificial es aplicable en cualquier sistema donde intervenga un ser humano.

Teniendo en cuenta la gran gama de sistemas en los que interviene un ser humano, la IA ha ido especializándose a lo largo del tiempo en cada uno de los mismos. En cada uno de ellos se ha ido empleando una metodología diferente, tomando como guía criterios diferentes. Esto, sin duda, supone un inconveniente para el desarrollo y consolidación de esta incipiente tecnología. Debido a ello, varios investigadores que trabajan en este campo han comenzado a estudiar el desarrollo de una metodología universal aplicable a toda la variedad de sistemas que se pueden dar en la realidad. Así pues aparece una nueva conceptualización del problema de la IA, que es la que V. Julián y V. Botti denominan como *paradigma de agentes* [2].

Este nuevo paradigma se basa en la desagregación del problema en unidades autónomas capaces de cooperar y coordinarse en pro del logro de los objetivos del sistema en su conjunto. De este modo, la IA se convertirá en una técnica orientada a agentes. Esto, a priori, nos puede hacer ver una similitud con la ingeniería de software orientada a objetos, la cual desagrega la complejidad del problema en entidades software independientes que son los objetos. Así pues, se puede establecer un paralelismo entre la evolución desde la programación estructurada hacia la programación orientada a objetos con la evolución que ha presentado la IA. Esta evolución en la conceptualización del problema ha sido, por supuesto, recogida por los más importantes investigadores de la materia. Tal es el caso de Stuart Russell, el cual ha adaptado su libro *Inteligencia Artificial, un enfoque moderno* a un enfoque orientado a agentes.

Hay que decir que este nuevo paradigma está aún por consolidarse, sin embargo ya existen numerosas aplicaciones en las cuales ha sido aplicado con éxito, tanto en sistemas sencillos como puedan ser los filtros e-mail, como en sistemas de mayor complejidad como puedan ser los de control del tráfico aéreo, la gestión de redes de telecomunicaciones, gestión de flujos de producción, comercio electrónico, data minin, monitorización médica, etc. ([2] y [3]).

## 2.- ¿Qué es un agente?

Una vez que el paradigma de agentes ha sido admitido por la comunidad de investigadores de la IA, no se debe parar aquí, sino que hay que ir un poco más lejos en la normalización. Al igual que la revolución industrial se produjo gracias a la estandarización de la fabricación pudiendo dar lugar a la fabricación de grandes series, la revolución de la IA se producirá sólo si se produce una unificación de criterios. Dicha unificación de criterios ha de ser total, y para poder conseguirla, primero habría de alcanzarse un consenso acerca del concepto más elemental, que sería el de cómo definir un agente.

Una primera aproximación de agente sería la de definirlo como un elemento informático situado dentro de un entorno, el cual lo percibe y actúa sobre él, y cuyo fin es el de lograr los objetivos para los que fue diseñado. Pero esta definición sería aún incompleta si no se matizase algo más sobre cómo los agentes se van a comportar para alcanzar dichos objetivos.

En cuanto a las características básicas que ha de poseer un agente, la visión aportada por Jennings y Wooldridge [3] parece ser lo suficientemente genérica como para abarcar a todos los posibles agentes que se puedan generar y lo suficientemente completa y clara como para poder discernir entre un agente y todo aquello que no se puede considerar como agente. Según dicha visión, las características de un agente serían las siguientes:

- *Autonomía*: Esto significa que un agente puede ser capaz de tener control sobre sus propias acciones y sobre su estado interno, todo ello sin necesidad de intervención humana ni de otros agentes.

Esta característica establece una clara diferencia entre lo que es un agente o simplemente un objeto. Mientras que en la programación orientada a objetos, un objeto *A* puede invocar a un método de un objeto *B*, de tal modo que este último no tiene ningún control sobre la ejecución del método, en la tecnología de los

agentes, si un agente  $X$  quiere que otro agente  $Y$  ejecute una acción, el primero deberá realizar una petición dirigida a  $Y$ , y será este último quien decida si se ejecuta esa acción y el modo en cómo ha de ejecutarse.

- *Flexibilidad*: este concepto podría ser considerado de un modo muy amplio, con lo cual va a ser preciso acotarlo de algún modo. Así pues, por flexibles vamos a entender sistemas que reúnan las siguientes cualidades:
  - *Reactividad*: los agentes pueden percibir su entorno (el cual puede ser el mundo real, un usuario, una colección de agentes, una base de datos, Internet, etc.) y responder en la forma adecuada a los cambios que se han producido en él, todo ello sin precisar de la intervención de un tercero.
  - *Proactividad*: esta característica es la que de alguna manera hace referencia a una capacidad de anticiparse al desenlace de los hechos, tomando iniciativas, siempre orientando su comportamiento a la consecución de los objetivos que tiene asignados. De este modo, los agentes no sólo actúan en respuesta a los estímulos del entorno.
  - *Capacidad de comunicación*: los agentes pueden interactuar cuando sea necesario con otros agentes con el fin de completar su propia tarea y ayudar a completar sus tareas a otros agentes. Un agente debe ser capaz de poder entablar comunicación con otros agentes a través de un lenguaje de comunicación de agentes ACL (Agent Communication Language).

Así pues, cada vez que se hable de *agentes inteligentes*, o simplemente de *agentes*, se sobreentenderá que se está hablando de entidades que reúnen las cualidades antes citadas. Esto no exime de que algunos agentes puedan tener otras cualidades adicionales dependiendo de sus aplicaciones particulares (por ejemplo movilidad o adaptabilidad), pero serán las características antes citadas las que serán comunes a todos los agentes, en mayor o menor grado.

A partir de estos planteamientos realizados por Jennings y Wooldridge, algunos autores han venido apuntando otras características, de las cuales, algunas de ellas, lo que hacen es matizar alguna de las características básicas anteriores (ej. la adaptatividad se puede considerar como un tipo particular de relación social), y en otras, lo que apuntan son comportamientos de algún tipo particular de agente (ej. la movilidad de los agentes móviles), pero que en el caso de que no se cumpliesen, no tiene por qué concluir que no se trata de un agente. No obstante, conviene hacer mención a ellas tal como se hace en los trabajos realizados por Franklin [4] y Nwana [5], como son:

- *Continuidad temporal*: el agente es un proceso sin ningún tipo de limitación temporal.
- *Autonomía*: el agente actúa sobre la base de su propio criterio y en la percepción que tiene de su entorno.
- *Sociabilidad*: el agente puede comunicarse con otros agentes o incluso con otras entidades.
- *Racionalidad*: el agente hace siempre “lo correcto”, siempre según su criterio.

- *Reactividad*: el comportamiento de los agentes, en parte está regido por los cambios producidos en el entorno en el que está inmerso, los cuales los va a percibir.
- *Pro-actividad*: el comportamiento de un agente es tal que es capaz de controlar sus propios objetivos a pesar de cambios en el entorno.
- *Adaptabilidad*: está relacionada con el aprendizaje que un agente es capaz de realizar y si puede cambiar su comportamiento basándose en ese aprendizaje.
- *Movilidad*: capacidad de un agente de trasladarse a través de una red telemática.
- *Veracidad*: se supone que un agente no comunica información falsa a propósito.
- *Benevolencia*: con esto lo que se observa es que un agente está dispuesto a ayudar a otros, siempre y cuando esto no entre en conflicto con sus objetivos.

### 3.- Sistema multiagente.

*Sistema multiagente es un conjunto de agentes autónomos, generalmente heterogéneos y potencialmente independientes que trabajan en común resolviendo un problema. [6]*

El estudio de los sistemas multiagente se encuadra dentro del campo de la inteligencia artificial distribuida, la cual se basa en la descomposición del problema en procesos cooperantes que comparten conocimientos, y su procesamiento de un modo descentralizado.

Las características más relevantes de los sistemas multiagentes son las siguientes [6]:

- *Cooperación*: es el proceso por el que ciertos agentes participantes generan deberes mutuamente dependientes en actividades conjuntas.
- *Resolución de conflictos*: debido a la coexistencia de varios agentes dentro de un sistema multiagente, pueden darse circunstancias que desemboquen en conflictos. Dichas circunstancias pueden ser varias y diversas como que el conocimiento local es incorrecto o incompleto; se da una coexistencia de metas diferentes; hay diferentes criterios de evaluación de soluciones; los recursos están limitados, etc.

Dichos conflictos son gestionados y resueltos a través de negociación, lo cual, por un lado propiciará un intercambio de información que mejorará la robustez y la integración del sistema, y por otro lado llevará a soluciones globalmente óptimas.

- *Negociación*: será el mecanismo que, a partir de varias percepciones individuales diferentes, de como consecuencia un punto de encuentro que maximice la utilidad del sistema global. Para conseguir esto, existen esquemas de negociación y relajación de metas como el de Zlotkin y Rosenschein (1990), y también existen mecanismos de arbitraje como el de Lesser (1988) y Sycara (1989) [6].

El proceso de la negociación sigue los siguientes pasos:

- 1.- Los agentes involucrados en el proceso hacen propuestas.
  - 2.- Las propuestas se modifican según avanza la negociación, de modo que las propuestas subsiguientes no pueden ser más exigentes que las anteriores, y así, las posturas se van acercando paso a paso.
  - 3.- La negociación finaliza cuando, o bien se ha creado un plan conjunto, o bien hay un bloqueo mutuo, teniendo que recurrir a otro procedimiento de negociación diferente, o bien se produce una apelación a un agente coordinador que puede modificar metas o relajar las restricciones.
- *Compartición del conocimiento:* para lo cual se requiere de una representación del conocimiento común para todos los agentes (ontologías) y de unos protocolos de comunicación comunes para los agentes.

#### **4.- Sistemas multiagente en la Gestión de la Producción.**

La globalización de la economía, la rapidez de la evolución tecnológica y la exigencia de calidad por parte de los clientes, no sólo en el ámbito de las prestaciones, sino también en costes y plazos de producción, están trayendo como consecuencia que los estilos tradicionales de gestión empresarial se vean desbordados, ya que su concepción impide que tales sistemas se adapten a las necesidades rápidamente cambiantes que se derivan de la nueva economía. Aquí es donde la tecnología de los agentes inteligentes proporciona una manera natural de superar tales problemas, y un modo de diseñar e implementar entornos de producción distribuidos inteligentes dotados de una mayor flexibilidad.

De este modo, algunos investigadores aplican la teoría de los agentes inteligentes a los problemas empresariales tales como la integración de la producción al sistema empresarial, gestión de la cadena de suministros, planificación, programación y control de la producción, aprovisionamientos, etc.

##### **4.1.- Características de las aplicaciones multiagente en los sistemas productivos.**

Los sistemas productivos han de ser capaces de desenvolverse en un entorno muy cambiante, y muy exigente en cuanto a calidad, coste y plazos de fabricación, para lo cual se necesita que sean muy flexibles, y que estén orientados tanto al ahorro de costes, como a garantizar las prestaciones de los productos, como a cumplir con los plazos temporales marcados. Así pues, los nuevos sistemas de gestión de la producción han de cumplir con los siguientes requisitos:

- *Integración empresarial:* la integración de todos los subsistemas de la empresa, articulados en los diferentes departamentos de la misma (marketing, finanzas, producción, calidad, aprovisionamientos,...) y la de los diferentes partners de la empresa, dentro del sistema, es fundamental para la competitividad de la empresa. Ello garantizará en todo momento la persecución del objetivo corporativo de la empresa por parte de todos y cada uno de los componentes que forman parte de la misma, y además, una rapidez en la capacidad de respuesta de mercado que dotará a la empresa de dicho carácter competitivo.

- *Organización distribuida:* esto es consecuencia de lo anterior, ya que para conseguir una buena integración dentro de las organizaciones, se necesitará de bases de conocimiento distribuidas capaces de relacionar la demanda final con los recursos de que dispone la empresa teniendo en cuenta la capacidad de la misma.
- *Entornos heterogéneos:* los sistemas de gestión de la producción han de ser capaces de adaptar software y hardware heterogéneo. Esto es así, bien porque las características del propio sistema así lo exigen, bien debido a que se han ido integrando diferentes sistemas a lo largo del tiempo, cada uno de ellos de diferente tecnología en lo que se denominan los sistemas heredados, como se muestra en el ejemplo de la Figura 1.

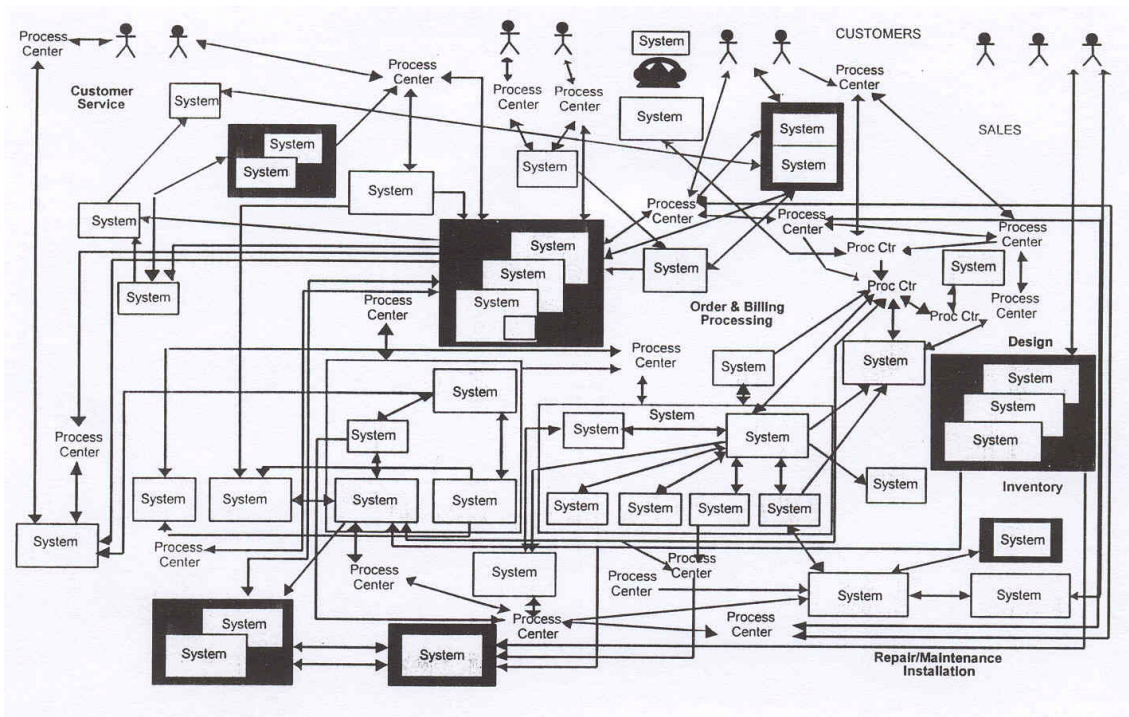


Figura 1: sistema de procesamiento de peticiones de servicio de una compañía telefónica puntera de U.S.A. [1]

- *Interoperatividad:* el hecho de trabajar en entornos heterogéneos planteará una dificultad adicional a los sistemas de gestión de la producción, y es la de la interoperatividad. Diferentes sistemas pueden emplear diferentes lenguajes. Esto sin embargo no será una traba en un entorno multiagente, ya que lo único que será preciso será utilizar el mismo protocolo de comunicación entre los diferentes sistemas, ya que cada agente puede llevar incluidos módulos de traducción de datos.
- *Estructura abierta y dinámica:* es lo que le va a permitir al sistema que se puedan añadir nuevos módulos o se puedan eliminar algunos de los existentes manteniendo una perfecta integración. Para ello se requiere la utilización de arquitecturas software abiertas y dinámicas.

- *Cooperación:* al sistema no sólo se le pedirá capacidad de cooperar, sino que ésta ha de producirse de una manera ágil, para lo cual es fundamental que la integración de todos los elementos de la empresa y los que le rodean (proveedores, clientes, socios, etc.) y su interoperatividad sea eficaz.
- *Integración del personal con el software y el hardware:* la presencia humana nunca puede quedar de lado, ya que realmente la responsabilidad de un proceso, en último término, recaerá sobre una persona. De ahí que sea preciso crear entornos de comunicación bidireccionales entre el personal y el sistema para facilitar la interacción. Dicha interacción es conveniente que pueda producirse en cualquier etapa dentro del proceso de producción para poder intervenir en él o simplemente para recabar información.
- *Agilidad:* producción ágil es la capacidad que tiene el sistema de adaptarse rápidamente a un entorno de continuos cambios imprevistos, de modo que se reduzcan al máximo los ciclos de fabricación y así poder cumplir con los plazos exigidos por los clientes. Para conseguir dicha agilidad, los sistemas de gestión de la producción deben ser capaces de poder reconfigurarse fácilmente e interactuar con diferentes sistemas.
- *Tolerancia a fallos:* tanto el sistema, como cada uno de los subsistemas que lo componen, han de ser capaces de detectar fallos del sistema y recuperarse de ellos minimizando su impacto en el entorno de trabajo.

#### **4.2.- Ventajas de la utilización de técnicas multiagente en la gestión de la producción.**

La aplicación de la inteligencia artificial para la implementación de soluciones en los sistemas productivos, en muchas ocasiones ha fracasado. Las técnicas orientadas a agentes constituyen una nueva forma de concebir dichas soluciones que, por sus características, son muy adaptables a la gestión de los sistemas productivos. Así pues, el Consorcio de Sistemas de Producción Holónicos (Holonc Manufacturing Systems Consortium) ( informe HMS, 1996), se ha orientado específicamente a investigar sobre los problemas de gestión de la producción y a desarrollar el control de la producción del siglo XXI.

La principal dificultad que presenta el problema de la gestión de la producción está en su carácter dinámico, ya que todos los cambios que se pueden dar en la demanda van a exigir una alta flexibilidad al sistema para que éste pueda tenerlas en cuenta en todo momento. Por otro lado, las continuas alteraciones que se producen en los procesos, como puedan ser paradas por averías, faltas de suministros, etc., requieren de unas estrategias de control robusto de modo que los programas no queden obsoletos antes de llegar a la planta productiva.

La técnica de los sistemas multiagente ofrece soluciones para el diseño de sistemas de producción dotados de la flexibilidad y la robustez necesarias para poder hacer frente a las dificultades expuestas en el párrafo anterior. La idea que se propone es la del diseño de sistemas de producción formados por componentes autónomos que controlan su propia área de responsabilidad y capaces de coordinar sus actividades cuando sea necesario.

La aplicación de las técnicas multiagente a la gestión de la producción aporta una serie de ventajas que las sitúan en una posición privilegiada frente a otras técnicas. Dichas ventajas son las siguientes:

- 1.- El empleo de una aproximación del sistema a través de un modelo distribuido reduce la complejidad de la toma de decisiones a través de la descentralización, proporcionando además una mayor proximidad entre el modelo y la realidad.
- 2.- Las técnicas de cooperación permiten la colaboración en un alto nivel de abstracción entre los diferentes componentes del sistema, proporcionando al sistema flexibilidad en términos de configuración y tamaño, pudiendo añadir nuevos elementos al modelo o reordenar dicho modelo de una forma fácil.
- 3.- Se pueden asignar diferentes criterios de evaluación a cada agente de modo que se podrán dar inconsistencias por contrastes de intereses que podrán ser resueltos mediante negociación.
- 4.- El sistema puede adaptarse a eventos imprevistos mediante reorganización autónoma del sistema.

#### **4.3.- Niveles de abstracción en la concepción de sistemas multiagente aplicados a la gestión de los sistemas productivos.**

Para poder comprender adecuadamente el funcionamiento de cualquier empresa, y así poder modelar un sistema que se encargue de su gestión, es preciso primeramente discernir cual es cada una de sus etapas o niveles de análisis. Así pues, si se analizan los sistemas de producción para su posterior modelización, se pueden observar tres niveles de abstracción:

- el *nivel de organización de la producción*, el cual incluye la planificación de la producción y la coordinación de la planta productiva donde otras plantas o componentes de una planta van a estar representadas por agentes. Sería lo correspondiente al *nivel estratégico*;
- el *nivel de programación de actividades en una factoría*, que es donde los agentes se configuran como sistemas distribuidos de programación y control, como sistemas de flujo de materiales, como sistemas de producción flexible, etc. Sería lo correspondiente al *nivel táctico*; y
- el *nivel de proceso* donde los agentes representan los dispositivos de proceso de la planta como puedan ser células de producción, robots de ensamblaje, cabinas de pintado, elementos de transporte, etc. Sería correspondiente al *nivel de operaciones*.

Así pues, la arquitectura de cualquier aplicación de sistemas multiagente a la gestión de la producción ha de contemplar esos tres niveles de abstracción.

#### **4.4.- Clasificación de las aplicaciones multiagente a los sistemas productivos.**

En esta sección se va a hacer una clasificación en dos categorías de las aplicaciones de sistemas multiagente a la gestión empresarial. Dicha clasificación será:



1.- Integración Empresarial y Gestión de la Cadena de Suministros.

2.- Planificación Programación y Control de la Producción.

#### 4.4.1.- Aplicaciones para la Integración Empresarial y la Gestión de la Cadena de Suministros.

La Integración Empresarial tiene un significado de interconexión entre todos los elementos que forman parte de una empresa, de modo que cada uno de ellos pueda obtener información del resto para lograr un desempeño correcto de sus tareas. Además, de este modo, se podrá conocer cual va a ser la incidencia de las acciones que tome sobre el resto del sistema, siendo información de gran utilidad para poder alcanzar los objetivos globales.

Respecto a la Gestión de la Cadena de Suministros (que va a estar compuesta por la propia planta, proveedores, almacenes, distribuidores y detallistas) hay que resaltar su importancia económica para muchas empresas. Una buena gestión en este sentido puede rebajar los costes de producción considerablemente. Para el desempeño de dicha gestión, los sistemas multiagente se adecuan de una forma muy natural, ya que van a trabajar como una red distribuida en la que cada nodo va a estar representado por un agente.

A continuación, en la tabla 1, se muestran algunos de los proyectos más interesantes, con sus correspondientes enlaces o referencias, que pueden ser encuadrados en esta categoría:

Proyecto	Grupo Investigador	Area	Características
ABMA	<a href="#">Budenske et al 1998</a> <a href="#">Architecture Tech. Co.</a>	Integración Empresarial	Arquitectura Middleware
ADE	<a href="#">Mehra y Nissen 1998</a> <a href="#">Gensym Co.</a>	Gestión de la Cadena de Suministros	Uso de eventos basados en delegación tratados de forma parecida a JavaBeans
AIMS	<a href="#">Park et al 1993</a> <a href="#">Lockheed Martin</a>	Producción Flexible	Utilización de Internet
ATP	<a href="#">Nist 1998</a> <a href="#">NIST</a>	Producción Flexible	Marco Plug-and Play
CIIMPLEX	<a href="#">Peng et al 1998</a> <a href="#">UMBC</a>	Integración Empresarial	Agentes de Servicio
CLAIM	<a href="#">Malkoun y Kendall 1997</a> <a href="#">RMIT</a>	Integración Empresarial	Metodología para la Integración Empresarial utilizando agentes
COSY	<a href="#">Burmeister et al 1998</a> <a href="#">Daimler-Benz</a>	Integración Empresarial	Arquitectura BDI
IA framework	Pan y Tenenbaum 1991 EIT [7]	Integración Empresarial	Gran número de Agentes como asistentes computerizados
IAO	<a href="#">Kwok y Norrie 1994</a> <a href="#">U. de Calgary</a>	Producción Inteligente	Desarrollo de software de producción inteligente
IDCSS	<a href="#">Klein 1995</a> <a href="#">CSS, MIT</a>	Ingeniería concurrente	Un modelo integrado que combinala existente tecnología de coordinación
ISCM	<a href="#">Fox et al 1993</a> <a href="#">U. de Toronto</a>	Gestión de la Cadena de Suministros	Esqueleto de construcción de agentes (ABS); Lenguaje de coordinación (COOL); Agentes funcionales
KRAFT	<a href="#">Gray et al 1998</a> <a href="#">KRAFT consortium</a>	Reutilización del conocimiento	Mediadores como agentes de conocimiento
Madefast	<a href="#">Cutkosky et al 1996</a> <a href="#">Stanford</a>	Ingeniería concurrente	Utilización de Internet
MADEmart	<a href="#">Jha et al 1998</a> <a href="#">Boeing</a>	Ingeniería concurrente	Agentes envoltorio para la encapsulación de sistemas heredados

MetaMorph I	<a href="#">Maturana y Norrie 1996</a> <a href="#">U. de Calgary</a>	Producción Inteligente	Arquitectura mediador- central
MetaMorph II	<a href="#">Shen et al 1998</a> <a href="#">U. de Calgary</a>	Producción Inteligente y Gestión de la Cadena de Suministro	Arquitectura híbrida; Mediadores comocoordinadores de subsistemas e interfaces para el sistema principal
¿?	<a href="#">Brugali et al 1998</a> <a href="#">Politecnico di Torino</a>	Gestión de la Cadena de Suministros	Utilización de agentes móviles a un proceso industrial
¿?	Fleury et al 1996 [8]	Optimización del Sistema de Producción	Interconexión entre técnicas multiagente, equilibrado simulado y simulación
¿?	<a href="#">Papaioannou y Edwards 1998</a> <a href="#">Loughborough</a>	Empresa Virtual	Utilización de agentes móviles
¿?	Pancerella et al 1995 Sandia Lab. [9]	Producción Flexible	Agente definido como un componente software autónomo y encapsulado
¿?	<a href="#">Swaminathan et al 1996</a> <a href="#">CMU</a>	Gestión de la Cadena de Suministros	Librería para cadena de suministros con elementos estructurales (agentes) y elementos de control para coordinación.
¿?	Wunderli et al 1996 ETH Zentrum [10]	Sistemas CIM	Agentes bases de datos para sistemas CIM
¿?	<a href="#">Yan et al 1998</a> <a href="#">Leipzig</a>	Gestión de Proyectos	Utilización de agentes móviles

¿? No se ha encontrado el nombre del proyecto a través de las publicaciones disponibles

Tabla 1: lista de proyectos que han utilizado la tecnología de los agentes inteligentes en la integración empresarial y en la cadena de suministros.

#### 4.4.2.- Aplicaciones para la Planificación Programación y Control de la Producción.

El proceso de planificación es una fase en la que se van a establecer los objetivos de la empresa, los cuales se concretarán en el proceso de programación que tratará de optimizar las asignaciones de recursos en cada momento teniendo en cuenta las restricciones de capacidad de la planta, sobre la base de algún criterio elegido (costes, plazos, productividad,...).

Por otro lado, como se ha dicho anteriormente, el carácter dinámico y abierto de los sistemas productivos reales hace que el diseño de aplicaciones que los gestionen se haga realmente complejo. En un sistema de producción se pueden dar variaciones dinámicas de diferente índole:

- variaciones en las tareas: en un sistema productivo, raramente se hacen las cosas según estaba previsto, ya que al sistema a veces se le puede solicitar nuevas tareas, las cuales no se habían previsto, y otras veces se le puede permitir dejar de realizar tareas que estaban programadas;
- variaciones en los recursos: se pueden introducir recursos adicionales (como puede ser la adquisición de nueva maquinaria, la contratación de personal, etc.) o inhabilitar algunos de los existentes (averías, ausencias de personal, etc.);
- variaciones en los tiempos: la variabilidad del tiempo de ejecución de algunas tareas puede hacer que la programación de tiempos inicial no se ajuste en absoluto a la situación real
- ...

Por todo lo anterior, el problema de la programación de la producción se vuelve altamente complejo y es ahí donde la tecnología de los Agentes Inteligentes ha encontrado un nicho de investigación para tratar de dar solución a tal complejidad.

En lo referente al control de la producción, su misión será la de monitorizar la marcha del proceso de producción y cotejar los resultados obtenidos realmente con los que estaban previstos, analizar las desviaciones producidas y tomar las medidas correspondientes para su corrección. Analizando el problema del control de la producción, este se puede desglosar en dos niveles de abstracción:

- bajo nivel, en el cual los dispositivos de producción son controlados para producir las unidades procesadas esperadas; y
- Alto nivel, el cual hace referencia a la coordinación de los recursos de producción disponibles para producir.

En los sistemas de producción basados en agentes, la tecnología multiagente es normalmente aplicada sólo al alto nivel de control de la producción, pero también puede ser aplicada al bajo nivel.

A continuación, en la tabla 2, se relacionan algunos de los proyectos más interesantes, con sus correspondientes enlaces o referencias, que pueden ser encuadrados en esta categoría:

Proyecto	Grupo Investigador	Area	Características
AARIA	<a href="#">Parunak et al 1998</a> <a href="#">ITI, U. de Cincinnati</a>	Programación y Control de la Producción	Agentes autónomos para representar entidades físicas, procesos y operaciones
ABACUS	<a href="#">McEleney et al 1998</a> <a href="#">UCB, UMIST</a>	Programación de la Producción	Agentes funcionales
ADDYMS	Butler y Ohtsubo 1992 [11]	Programación de la Producción	Programación dinámica y local de agentes que representan recursos físicos
AMACOIA	<a href="#">Sprumont y Muller 1996</a> <a href="#">U. de Neuchatel</a>	Diseño de líneas de ensamblaje flexibles	Uso del equilibrado simulado para la distribución en planta
AMC	<a href="#">Goldsmith y Interrante 1998</a> <a href="#">Sandia Lab</a>	Programación de la Producción	Agentes físicos: agentes que representan partes y máquinas
ARCHON	<a href="#">Jennings, N. R., Corera, J. M. Y Laresgoiti, I 1995</a> <a href="#">Iberdrola</a>	Gestión del transporte de electricidad.	Uno de los primeros sistemas industriales distribuidos en inteligencia artificial.
ARMOSE	<a href="#">Overgaard et al 1994</a> <a href="#">U. de Odense</a>	Robótica	Cada conjunto de un robot es modelado como un agente
CAMPS	Miyashita 1998 [12]	Planificación y Programación de la Producción	Metodo basado en reparaciones junto con mecanismos basados en restricciones
CORTES	<a href="#">Sadeh y Fox 1989, Sycara et al 1991</a> <a href="#">CMU</a>	Programación de la Producción	Técnicas micro-oportunistas para la resolución de problemas de programación
DAS	<a href="#">Burke y Prosser 1991</a> <a href="#">U. de Strathclyde</a>	Programación de la Producción	Arquitectura jerárquica con agentes que representan recursos, grupos de recursos y una programación global de procesos
I-Control	<a href="#">Brennan et al 1997, Wang et al 1998</a> <a href="#">U. de Calgary</a>	Control del Sistema Productivo	Partial Dynamic Control Hierarchy (PDCH)
IFCF	<a href="#">Lin y Solberg 1992</a> <a href="#">Purdue</a>	Programación y Control de la Producción	Agentes representando recursos físicos
LMS	Fordyce y Sullivan 1994 [13]	Programación de la Producción	Agentes funcionales. Elección de protocolos de comunicación

MAPP	<a href="#">Hayes 1998 U. de Minnesota</a>	Planificación de Procesos	Combinación de arquitecturas secuencial y de pizarra
MASCADA	<a href="#">Bruckner et al 1998 Daimler-Benz AG, KULeuven</a>	Programación y Control de la Producción	Comportamiento emergente en Control de la Producción; Tratamiento proactivo de las alteraciones
MASCOT	<a href="#">Parunak 1993 ITI</a>	Programación y Control de la Producción	Una ontología compartida y un conjunto básico de módulos realistas
Reagere	<a href="#">Berry y Kumura 1998 U. Estatal de Penn</a>	Programación y Control de la Producción	Basado en arquitectura de pizarra
Sensible Agents	<a href="#">Barber et al 1998 U. de Texas en Austin</a>	Programación de la Producción	Implementado como objetos CORBA
SFA	<a href="#">Parunak 1996 NCMS</a>	Programación y Control de la Producción	Aplicaciones de producción reales
YAMS	<a href="#">Parunak 1987 ITI</a>	Programación y Control de la Producción	Una de las primeras aplicaciones en este campo
¿?	<a href="#">Baker 1991 U. de Cincinnati</a>	Programación y Control de la Producción	Arquitectura Contract Net; programación forward & backward
¿?	Choi y Park 1997 [14]	Programación de la planta de producción de un astillero	Un método económico para desarrollar sistemas de agentes inteligentes
¿?	<a href="#">Duffie y Piper 1986 Wisconsin</a>	Programación y Control de la Producción	Agentes que representan recursos físicos, partes y personas.
¿?	<a href="#">Fischer 1994 DFKI</a>	Planificación y Control de la Producción	Arquitectura jerárquica por capas
¿?	<a href="#">Hasegawa et al 1994 Toshiba</a>	Planificación y Programación de la Producción	Uso de una aproximación HMS
¿?	<a href="#">Interrante y Goldsmith 1998 Sandia Lab</a>	Programación y Control de la Producción	Agentes de los tipos A, B y C
¿?	<a href="#">Saad et al 1995 Vanderbilt</a>	Programación y Control de la Producción	Negociación máquina- central y parte-central
¿?	Kouiss et al 1997 [15]	Programación de la Producción	Cada agente representa un centro de trabajo
¿?	<a href="#">Liu y Sycara 1994, 1995 CMU</a>	Optimización bajo restricciones de sistemas Job Shop	CP&CR (Constraint Partition and Coordinated Reaction) para el cumplimiento de restricciones; Anchor & Ascend para optimizar restricciones distribuidas
¿?	Murthy et al 1997 [16]	Programación de la Producción	Arquitectura A-team
¿?	Ouealhadj et al 1998 U. de Toulouse [17]	Programación y Control de la Producción	Los agentes representan recursos físicos
¿?	<a href="#">Patrioti et al 1997, Schaefer et al 1996 CRAN GGP</a>	Programación y Control de la Producción	Arquitectura por capas, empleando diferentes mecanismos en diferentes niveles
¿?	<a href="#">Sousa y Ramos 1997 ISEP/IPP</a>	Programación de la Producción	Uso de una aproximación HMS. Programación dinámica
¿?	<a href="#">Tseng et al 1997 HKUST</a>	Programación y Control de la Producción	Modelo de mercado para el control de la producción con agentes que representan recursos

¿? No se ha encontrado el nombre del proyecto a través de las publicaciones disponibles

Tabla 2: lista de proyectos que han utilizado la tecnología de los agentes inteligentes en la planificación, programación y control de la producción.

#### 4.5.- Temas clave en el desarrollo de sistemas de producción basados en agentes inteligentes.

Como puntos clave para la aplicación del paradigma de los agentes inteligentes a la gestión de la producción, se pueden considerar los siguientes:

- *El problema de la seguridad*, sobre todo si se tiene en cuenta que las aplicaciones basadas en agentes inteligentes están concebidas con arquitecturas abiertas, y más aún si utilizan Internet o agentes móviles.
- *La encapsulación de los agentes* para las aplicaciones en los sistemas productivos puede ser de dos tipos: encapsulación funcional, en la que cada agente encapsula un módulo funcional, como pueda ser compras, programación de la producción, distribución, etc. (ej. ISCM, CIIMPLEX, ABACUS y LMS). Este tipo de encapsulación es muy empleado para integrar sistemas ya existentes (ej. herramientas CAD, sistemas MRP, etc.); y encapsulación física, en la que cada agente encapsula a un dispositivo físico real como pueda ser un operario, máquinas, dispositivos de transporte, etc. (ej. MetaMorph I y II, ADDYMS, AIMS, AARIA, y YAMS).
- *La arquitectura del sistema* puede estar encuadrada dentro de alguna de las cuatro categorías siguientes: arquitectura jerárquica, federativa, autónoma, e híbrida.

La arquitectura jerárquica se basa en el hecho de que una empresa normal estará compuesta de una serie de unidades cada una de las cuales tendrá un grado de control sobre los recursos disponibles, y cada una de ellas con diferentes necesidades de información. Este tipo de arquitectura va a tener el inconveniente, visto desde la perspectiva de la teoría de los agentes inteligentes, de que va a estar bastante centralizada.

Dentro de la arquitectura federativa, se van a tener tres aproximaciones según sea el tipo de agente de enlace que relacione a todos los agentes del sistema, los cuales pueden ser de tres tipos: facilitadores, brokers y mediadores. Los facilitadores van a ser los responsables de poner en contacto a una colección local de agentes con otros agentes remotos a modo de gestor de mensajes entrantes y salientes (ej. CIIMPLEX). Los brokers son similares a los facilitadores, con la diferencia de que estos últimos sólo son responsables de gestionar la comunicación entre un grupo definido de agentes mientras que cualquier agente puede acudir a un broker en el sistema para ponerle en contacto con cualquier otro agente para desempeñar una tarea especial. Ej. AIMS y CIIMPLEX. Por último, están los mediadores, los cuales asumen el papel de la coordinación del sistema promoviendo la cooperación entre agentes inteligentes y aprendiendo de su comportamiento. En este tipo de arquitecturas, se va a imponer una jerarquía dinámica para cada tarea específica, haciendo el sistema más simple y manejable.

La arquitectura autónoma va a ser muy adecuada para el desarrollo de sistemas inteligentes distribuidos donde las herramientas de ingeniería van a ser encapsuladas como agentes y conectadas al sistema para proporcionar servicios especiales. Por otro lado, será tanto más adecuada cuanto menor sea el número de agentes que constituyen el sistema (ej. AARIA).

La arquitectura híbrida es una combinación entre las arquitecturas mencionadas anteriormente para conseguir sistemas de gestión flexibles, modulares, escalables y dinámicos (ej. MetaMorph II).

- La *reconfiguración dinámica del sistema* necesaria según van apareciendo situaciones no previstas, la cual puede realizarse vía Internet (ej. AIMS), a través de

mecanismos de registro entre el nivel de sistema y el nivel de mediador (ej. MetaMorph I y II), en arquitectura autónoma (ej. AARIA), a través de un entorno plug-and-play (ej. ATP), etc.

- El *aprendizaje del sistema* el cual hará que mejore el comportamiento del sistema a partir de la experiencia adquirida, la cual le proporcionará una mayor rapidez de respuesta ante cualquier evento.
- La *evaluación de procesos* va a ser fundamental para poder comprobar si la asignación de recursos cumple con los requerimientos de producción y se adapta a la capacidad de la planta.
- La *programación dinámica distribuida* es un proceso incremental que se va conformando en varias etapas. Esta programación, puede ser de dos tipos, en correspondencia con los dos niveles de abstracción vistos en secciones anteriores: uno que consistiría en la mezcla de programas funcionales, muy similar a una programación centralizada; y el otro en que cada agente representa a un dispositivo, y este va a ser el responsable de su programación, y cada uno de estos agentes podrá negociar con otros agentes para obtener la programación global.
- Las *herramientas de desarrollo*: la mayoría de los proyectos realizados con agentes inteligentes, han sido desarrollados mediante herramientas tradicionales como C++, Java, Lisp, Smalltalk y Prolog. Pero para poder desarrollar sistemas basados en agentes más potentes, es necesario disponer de herramientas específicas para el desarrollo de sistemas productivos basados en agentes inteligentes. Así pues, hay varias herramientas de este tipo, aparecidas recientemente, y disponibles en el mercado tales como EIL, desarrollado en la Universidad de Toronto, ZEUS desarrollado en la British Telecom, Voyager<sup>TM</sup> de ObjectSpace, ADE (Agent Development Environment) de Gensym, SFA (Shop Floor Agents) de NCMS, SDK de IBM, Odyssey<sup>TM</sup> de General Magic, ADT (Agent Development Toolkit) de SRI, JATLite de Stanford, Cybele del grupo AARIA y DESIRE.
- Los *estándares* representan el acuerdo que debe haber entre los desarrolladores para definir cuales han de ser las funcionalidades básicas que ha de poseer cada herramienta y como deben estar definidas. Se han desarrollado muchos esfuerzos en la estandarización, y actualmente están trabajando en ello fundamentalmente dos consorcios que son *The Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA)* y *The National Industrial Information Infrastructure Protocols (NIIP)*. Por otro lado, también se han utilizado standards tradicionales en el desarrollo de sistemas basados en agentes inteligentes tales como CORBA, para comunicación entre agentes, y STEP para proporcionar la semántica de los mensajes en aplicaciones de producción.

## Referencias

- [1] S. C. Laufmann “Agent Software for Near-Term Success in Distributed Applications”. *AGENT TECHNOLOGY Foundations, Applications, and Markets*. Springer-Verlag (1998).
- [2] V. Julián, V. Botti “Agentes Inteligentes: el siguiente paso en la Inteligencia Artificial”. *NOVATICA* / may-jun. (2000).

- [3] N. R. Jennings and M. Wooldridge “Applications of Intelligent Agents”. *AGENT TECHNOLOGY Foundations, Applications, and Markets*. Springer-Verlag (1998).
- [4] Franklin, S., Graesser, A. “Is it an Agent, or just a Program?: A taxonomy for Autonomous Agents”. *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*. . Springer-Verlag (1996).
- [5] H. S. Nwana, D. T. Ndumu “A Brief Introduction to Software Agent Technology”. *AGENT TECHNOLOGY Foundations, Applications, and Markets*. Springer-Verlag (1998).
- [6] Llamas C. “Introducción a los Agentes y Sistemas Multiagente”. *Departamento de Informática de la Universidad de Valladolid* (2000). <http://www.infor.uva.es/~cllamas/MAS/SistemasMultiagente.html>
- [7] Pan and Tenenbaum, Pan, J. Y. C., and Tenenbaum, J. M. “An intelligent agent framework for enterprise integration”. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-21(6):1391-1408 (1991).
- [8] G. Fleury, J.-Y. Goujon, M. Gourgand, and P. Lacomme. “Multi-Agents Approach for Manufacturing Systems Optimization”. *Proceedings of the First International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology* (1996).
- [9] Pancerella, C., Hazelton, A., and Frost, R. “An autonomous agent for on-machine acceptance of machined components”. *In Proceedings of SPIE International Symposium on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing, P. A.* (1995).
- [10] Wunderli, M., Norrie, M. C., and Schaad, W. “ Multidatabase agents for CIM systems. *International Journal Computer Integrated manufacturing*, 9(4), 293-298 (1996).
- [11] Butler, J., and Ohtsubo, H. “ADDYMS: Architecture for Distributed Dynamic Manufacturing Scheduling”. *Artificial Intelligence Applications in Manufacturing*, Famili, A., Nau, D. S., and Kim, S. H., (eds.), The AAAi Press, pp. 199-214 (1992).
- [12] Miyashita, K. “CAMPS: a constraint-based architecture for multi-agent planning and scheduling”. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9(2), 147-154 (1998).
- [13] Fordyce, K., and Sullivan, G. G. “Logistics Management System (LMS): Integrating Decision Technologies for Dispatch Scheduling in Semiconductor Manufacturing”. *Intelligent Scheduling*, Zweben, M. and Fox, M. S., eds., Morgan Kaufman Publishers, San Francisco, CA, pp.473-516 (1994).
- [14] Choi, H. S., and Park, K. H. Shop-floor scheduling at shipbuilding yards using the multiple intelligent agent system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 8(6), 505-515 (1997).
- [15] Kouiss, K., Pierreval, H., and Mebarki, N. “Using multi-agent architecture in FMS for dynamic scheduling”. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 8(1), 41-47 (1997).

- [16] Murthy, S., Akkiraju, R., Rachlin, J., and Wu, F. "Agent-Based Cooperative Scheduling". *Proceedings of AAAI Workshop on Constraints and Agents*, AAAI Press 112-117 (1997).
- [17] Ouelhadj, D., Hanachi, C., and Bouzouia, B. "Multi-Agent System for Dynamic Scheduling and Control in Manufacturing Cells". *Working Notes of the Agent-Based Manufacturing WorkShop*, Minneapolis, MN (1998).