

## Modelización de la cadena de suministro desde un punto de vista de agente

Juan José Laviós Villahoz, Ricardo del Olmo Martínez, Rosa M<sup>a</sup> Sánchez Saiz, Miguel Ángel Mariscal Saldaña

Área de Organización de Empresas. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Burgos. Avenida Cantabria s/n. 09006 Burgos. [jjlavios@ubu.es](mailto:jjlavios@ubu.es), [rdelolmo@ubu.es](mailto:rdelolmo@ubu.es), [rsanchez@ubu.es](mailto:rsanchez@ubu.es), [mariscal@ubu.es](mailto:mariscal@ubu.es)

### Resumen

*La tendencia actual hacia la competencia en mercados globales hace cada vez más necesario sistemas de integración de la empresa que permitan satisfacer las demandas cambiantes de la forma más eficiente. Una de las posibles vías es a través de la cadena de suministro, que agrupa las actividades que van desde las adquisición de materias primas hasta la distribución. Esto lleva a tratar de forma integrada la gestión de los procesos de planificación del conjunto de empresas que constituyen la cadena de suministro. La complejidad que esto tiene hace necesaria la automatización de dichos procesos de gestión. Para ello, una de las posibles alternativas es la utilización de sistemas multiagente que, por sus propias características, nos permiten modelizar de forma natural los procesos generados a lo largo de la cadena de suministro. Se señalan además, alguno de los proyectos desarrollados en este campo*

**Palabras clave:** integración empresarial, cadena de suministro, agente

### 1. Introducción

En los últimos años los distintos mercados independientes existentes a nivel mundial han pasado a constituir un mercado global. Este mercado tiene unas altas exigencias en cuanto a variedad de productos, calidad y fiabilidad. Las principales causas de este cambio son la mejora de los sistemas de comunicación, permitiendo a los consumidores el acceso inmediato a la información, mejora de los sistemas de transporte, y la reducción o incluso la eliminación de aranceles. El resultado es que el mercado cambia rápidamente, con un número creciente de consumidores, rápido desarrollo de productos y con competencia elevada dentro de él. Bajo estas circunstancias los procesos de predicción de la demanda y de planificación de la producción son cada vez más complejos. El reto para las empresas es capturar el potencial económico que le ofrece el nuevo entorno mientras se trata de minimizar el efecto negativo de las fluctuaciones. Esto sólo se puede lograr mediante organizaciones flexibles y con alto grado de fiabilidad en sus procesos. Para ello es necesario estudiar y caracterizar el comportamiento dinámico de la empresa y de sus relaciones con otras. (Perea- López, E., 2001). La estrategia de la empresa debe modificarse para mantener un nivel de competitividad global, innovación e introducción de nuevos productos, y respuesta rápida ante los cambios del mercado.

Integración empresarial, agilidad y escalabilidad son los objetivos a conseguir. Integración referida a sus propios sistemas productivos (desde el departamento de compras al de expediciones pasando por el de diseño, producción, etc.) e incluyendo además los de sus proveedores, clientes y otros posibles partners. Flexibilidad o habilidad de la empresa para

responder a una variedad de requerimientos del cliente dentro de unos límites determinados y agilidad, referida a la capacidad de dar respuesta a los cambios no previstos, y así como a la búsqueda de oportunidades en un entorno turbulento (Lau C.W. et al, 2003). Esto constituye una auténtica revolución en los entornos productivos. La cooperación entre los distintos sistemas implicados permitirá disponer de una capacidad de rápida respuesta y de la posibilidad de reconfiguración de los mismos con el objeto de aprovechar las distintas oportunidades de mercado. Uno de los aspectos que consideramos clave a la hora conseguir la formación y disolución rápida de las interacciones entre empresas es un soporte automatizado en la gestión de la cadena de suministro, ya que la demanda de respuesta rápida, junto a un creciente volumen y complejidad de la información, hace necesaria la sustitución de las interacciones humanas. Se trata de definir cuáles con los elementos que deben caracterizar la formación y gestión de la cadena de suministro para que responda a las necesidades planteadas. Estos conceptos, aunque aplicados aquí a la cadena de suministro, son aplicables a los enfoques de empresa virtual y empresa extendida.

## **2. Gestión de la cadena de suministro**

La cadena de suministro es un conjunto de actividades que cubren las funciones de la empresa desde la adquisición de materias primas hasta la distribución de los productos finales a los clientes. En el modelo tradicional de cadena de suministro la información y el flujo material siguen una única dirección. La información sobre la demanda es tomada directamente por los distribuidores, que tienen contacto directo con los clientes. Los distribuidores finales pueden realizar órdenes de compra, si este se vende, o devolver o no volver a pedir los productos que no se venden en un periodo de tiempo largo. Por tanto, la información sobre la demanda puede que no llegue al fabricante incluso hasta pasados unos meses. Este retraso en la información puede originar problemas en el aprovisionamiento, excedente de inventario y uso ineficiente de los recursos. Esto requiere de una mayor coordinación entre los elementos que forman la cadena de suministro, más aún con la tendencia a la personalización de los productos.

La gestión de la cadena de suministro trata de mejorar el servicio y reducir costes mediante la integración de los sistemas de planificación y control de los flujos. Estos se producen tanto dentro de la empresa, aspecto resuelto en gran medida por los sistemas de integración empresarial (ERP), como entre las empresas que componen la cadena de suministro, aspecto que queda por mejorar.

La gestión de la cadena de suministro juega un papel importante a la hora de proporcionar la mejor calidad y servicio, pero para conseguirlo requiere de coordinación entre las distintas empresas que la componen y dentro de cada una de ellas. La disponibilidad actual de herramientas ligadas a los sistemas de información proporciona a las empresas mayores oportunidades para relacionarse con sus socios. En una cadena de suministro ideal, toda la información sería compartida rápidamente a lo largo de la misma, de modo que se mejorarían tanto los costes de inventario como el servicio al consumidor. La eficiencia de la cadena de suministro está relacionada con la calidad de la información intercambiada entre los componentes de la cadena y la frecuencia con que lo hacen. La coordinación de los procesos en la cadena de suministro requiere del intercambio de información entre sus componentes, para lo que es necesaria una actitud de colaboración entre los mismos. El punto central en la gestión de la cadena de suministro es la reducción de la incertidumbre en la toma de decisiones de las organizaciones que la conforman.

En este punto podemos distinguir dos tipos de cadena de suministro: el primer tipo sería la cadena de suministro en la que existe de forma clara un participante que ejerce un dominio sobre los otros componentes, mientras que el segundo tipo incluiría las cadenas de suministro en las que ninguno de los componentes tiene un efecto preponderante sobre el resto.

En el primero de los casos, la organización dominante puede hacer uso de su control jerárquico para alcanzar el control integral de la cadena. Las organizaciones subordinadas en la cadena de suministro están obligadas a seguir las instrucciones de la organización dominante. En este caso la gestión integral suele venir proporcionada por un sistema de información central, que posee unos procedimientos fijos que marcan los procesos de las organizaciones subordinadas en la cadena de suministro. Además, la posición de la organización dominante suele permitir conseguir menores costes y mayores niveles de calidad. Por el contrario, la misma posición dominante resta flexibilidad a la cadena de suministro, necesaria para poder ofrecer una amplia variedad de productos. Es muy difícil para cualquiera de las empresas subordinadas cambiar su papel en la cadena o incluso cambiar de cadena de suministro.

El segundo de los tipos incluye a aquellas cadenas de suministro en la que ninguno de sus componentes tiene un papel dominador sobre el resto. Este tipo de cadena permite una mayor flexibilidad al permitir acomodar su estructura a la demanda cambiante del mercado. Las características en este caso de la misma suele ser el control autónomo de las organizaciones pertenecientes, metas comunes, confianza mutua, intercambio de información y estrecha colaboración. Cada organización puede cambiar su posición en la cadena de suministro para responder a las circunstancias cambiantes del mercado. Además, pueden surgir nuevas cadenas para proporcionar nuevos productos, mientras que desaparecen las cadenas que proporcionaban productos ya sin éxito. La facilidad en la modificación de relaciones entre las empresas tiene como resultado una cadena de suministro dinámica. (Verwijmeren, M. 2004)

### **3. Aplicación del paradigma de sistemas multiagente a la cadena de suministro**

En este punto trataremos de justificar el uso del paradigma de sistemas multiagente como metodología para el estudio de la cadena de suministro. Primero presentaremos el concepto de agente y de sistemas multiagente, para pasar a estudiar después cómo las características propias de estos sistemas nos permiten modelizar de forma natural los procesos generados a lo largo de la cadena.

#### **3.1. Concepto de agente y sistemas multiagente**

Un Sistema Multiagente (SMA) se compone de dos o más agentes que se comunican. Aunque no existe unanimidad en la definición agente, dado que coexisten varias con distinto grado de vaguedad, vamos a utilizar la expuesta por Wooldrige y Jennings (1995) que proponen que el término agente caracteriza un sistema computacional que posee las siguientes características:

- Autonomía: un agente actúa sin la intervención externa y tiene un cierto control sobre sus acciones y sus estados internos
- Capacidades sociales: El agente interactúa con otros agentes (pueden ser humanos) con ayuda de un lenguaje de comunicación de agente
- Reactividad: El agente percibe su entorno (que puede ser el mundo físico, una persona a través de una interfaz gráfica, un conjunto de otros agentes, internet o combinaciones de los anteriores)

- Proactividad: El agente no actúa solamente ante los estímulos de su entorno, también es capaz de mostrar comportamientos dirigidos por sus objetivos tomando la iniciativa

El estudio de sistemas multiagente se inició en el ámbito de la Inteligencia Artificial Distribuida (Distributed Artificial Intelligence, DAI). La DAI estudia como el comportamiento inteligente de grupo se deriva a partir de la cooperación de entidades llamadas agentes.

El SMA se centra en el comportamiento individual a partir del cual se deriva el comportamiento del sistema. En los SMA, el problema se origina y se resuelve en cada nodo local y la solución global es emergente. Los SMA se centran en el comportamiento social de entidades inteligentes se ocupan principalmente de estudiar los modelos de comportamiento, estrategias de cooperación y coordinación, optimización del desempeño de tareas, aprendizaje a partir de experiencias propias, formación de coaliciones, etc.

El ámbito de aplicación de los SMA es muy amplio y se aplica en dominios tales como el comercio electrónico, control inteligente de la producción, robótica, o la recuperación de información entre otros.

### **3.2. Aplicación a la cadena de suministro**

Siguiendo a Ferber (1999) los de sistemas distribuidos, como son los sistemas multiagente, se adaptan muy bien en los siguientes tipos de problemas:

- Problemas que están físicamente distribuidos. Es decir, sistemas en los que por su naturaleza sus elementos están distribuidos en un espacio físico.
- Problemas que contienen una amplia variedad de funciones
- Problemas definidos en red
- Problemas con una alta complejidad global, de modo que resulte mucho más sencillo resolverlo como suma de varios problemas locales más sencillos
- Sistemas en los que sea necesario adaptarse a los cambios en la estructura o en el entorno, tratando así los problemas de forma dinámica

Desde este punto de vista, la cadena de suministro se plantea como una red de agentes inteligentes compuestos por subsistemas de producción heterogéneos que se reagrupan en coaliciones dinámicas y virtuales. Cada subsistema de producción persigue sus propios objetivos individuales mientras que a la vez satisface las restricciones locales y externas (Maturana et al., 1999). Un agente permite representar cada uno de los componentes que forman la cadena de suministro, el sistema de agentes resultante poseerá unas características similares a las de la cadena de suministro estudiada como son:

- autonomía: una empresa que ejecuta sus propias tareas sin necesitar ninguna intervención externa
- capacidades sociales: cada componente de la cadena logística puede comunicarse con otro para, por ejemplo, enviarle una solicitud de productos o de servicios
- reactividad: cada empresa modifica su comportamiento en función de las circunstancias
- proactividad: una empresa puede iniciar por si misma nuevas actividades, como lanzar un nuevo producto al mercado.

El enfoque de agentes tiene ventajas sobre el uso de otros enfoques convencionales en la gestión de la cadena de suministro, como son: el incremento del grado de reacción de la empresa a los requerimientos del mercado, los clientes se involucran en la optimización total de la cadena de suministro, la optimización de la cadena en la asignación efectiva de recursos y la gestión dinámica de materiales e inventario, y el incremento de la efectividad del intercambio y realimentación de la información.

El uso de estos sistemas también tiene inconvenientes frente a otros enfoques. De estos podemos destacar que no se garantiza la consecución del óptimo teórico y que las predicciones generalmente solo pueden ser hechas a un nivel agregado. Además, habrá que tener en cuenta los problemas de seguridad resultado de una arquitectura abierta, aunque estos problemas no son específicos de los sistemas multiagente (Botti, V. y Giret, A. 2002)

Las razones citadas muestran la pertinencia del uso de un enfoque basado en agentes en el dominio de la cadena de suministro. Gracias a su adaptabilidad, autonomía y su capacidad de relación social, los sistemas basados en agentes parecen ser una tecnología válida de representación, análisis y gestión de la misma. Esto permitirá la creación de una red ágil de forma que reaccionará en tiempo real a las demandas de los clientes, frente a los sistemas actuales en los que todo está decidido antes de que el cliente haya realizado ninguna solicitud.

A continuación se muestran varios proyectos relacionados con la utilización de agentes en la cadena de suministro. Los problemas que se tratan en ellos se pueden agrupar en dos categorías principales: la concepción y la gestión de la cadena. La forma de resolver estos problemas varía en cada caso, empezando por el número de agentes utilizados y el papel que desempeña cada uno. La tabla nº1 resume los aspectos principales de estos proyectos. (Moyeux, T., 2002)

1. DragonChain de Kimbrough, Wu y Zhong de la universidad de Pensilvania (Estados Unidos) trata de automatizar la gestión de la cadena de suministro con el objetivo de reducir el efecto látigo. El sistema actúa siguiendo el modelo del *Juego de la cerveza* desarrollado por el Grupo de Estudios Dinámicos del MIT y utiliza agentes que a través de algoritmos genéticos tratan de determinar la mejor política de reaprovisionamiento.

2. Agent Building Shell de la Universidad de Toronto (Canada) es una biblioteca de software de clases que soportan las herramientas de implementación de agentes. La arquitectura de dichos agentes está realizada utilizando cuatro capas: capa de gestión de conocimiento, capa de ontología, de cooperación y de resolución de conflictos, y la capa de comunicación y coordinación

3. MetaMorph II es una mejora de un proyecto previo denominado MetaMorph. En él los agentes forman una federación basada en mediadores que tienen dos papeles: permitir que los agentes se encuentren entre sí y coordinarlos. Estos proyectos han sido desarrollados en la universidad de Calgary (Canadá)

4. NetMan (NETworked MANufacturing) Propone una estructura en red para poder conseguir sistemas de producción ágiles en un entorno dinámico. Cada empresa se divide en unidades de negocio independientes que colaboran entre sí. Cada unidad se coordina junto con las correspondientes unidades de clientes y proveedores de la empresa a la que pertenecen, basándose sus relaciones en una serie de contratos y convenciones predefinidos.

5. BPMAT es una librería desarrollada por IBM que trata de modelizar las actividades de una empresa. Esta se complementa con la ACL, librería que permite modelizar los flujos entre empresas. Estas herramientas se apoyan en los trabajos del equipo de Swaminathan (Swaminathan et al., 1998) de la Universidad de Carnegie Melon (Estados Unidos) que ha buscado elementos comunes a toda cadena de suministro comparando tres cadenas de suministro tipo.

**Tabla 1.** Ejemplos de utilización de agentes en la cadena de suministro

<b>Proyecto</b>	<b>Nivel del problema tratado</b>	<b>Problema tratado</b>	<b>Método utilizado</b>
<b>DragonChain</b>	Gestión de la cadena de suministro	Efecto látigo	Algoritmos genéticos
<b>Agent Building Shell</b>	Gestión de la cadena de suministro	Coordinación	Lenguaje de coordinación COOL
<b>Metamorph 1 y 2</b>	Gestión de la cadena de suministro	Coordinación	Utilización de agentes mediadores
<b>NetMan</b>	Gestión de la cadena de suministro	Gestión de las operaciones intra e interempresariales	Coordinación por contratos y convenciones
<b>BPMAT y SCL</b>	Descripción de la cadena de suministro	Elementos comunes en toda cadena de suministro	Comparación de tres tipos de cadenas de suministro muy diferentes
<b>MASCOT</b>	Gestión de la cadena de suministro	Aumento de la agilidad	Comparación de varias políticas de coordinación
<b>DASch</b>	Gestión de la cadena de suministro	Tecnologías de la modelización de la cadena de suministro	Tiene en cuenta los retrasos e incertidumbre en los flujos
<b>MASC</b>	Creación de la cadena de suministro	Selección de componentes	Coordinación basado en subastas y restricciones
<b>OCEAN</b>	Gestión de la cadena de suministro	Cooperación global a partir de la competencia entre las empresas	Sistema de coordinación en una red de contratos multiagente

6. MASCOT (Multi-Agent Supply Chain coOrdination Tool) también desarrollado en la universidad de Carnegie Melon (Estados Unidos). Es una arquitectura basada en agentes para la planificación y coordinación que busca la mejora de la agilidad de la cadena de suministro. El sistema coordina la producción a través de las instalaciones, tanto internas como externas, de la empresa, además de evaluar decisiones sobre la concepción de nuevos productos y de sus componentes.

7. DaSch ha sido desarrollado por Parunak y su equipo (Parunak and VanderBok, 1988) en ERIM (Michigan, Estados Unidos). Este proyecto explora las técnicas de modelización de los proveedores, incluyendo no solo los de primer nivel, sino los de los niveles siguientes. Buscan modelizar mediante agentes los flujos de materiales y de información teniendo en cuenta que estos no son perfectos.

8. MASC está desarrollado en la Universidad d'Aix Marseille 3 (Francia) y estudia las formas de coordinación de los componentes de la cadena logística. Esta coordinación se realiza en respuesta a una oferta a los posibles participantes, que responden en función de su capacidad y de la carga de producción que ya posea. Los actores que ganen la oferta forman la cadena de suministro que llevará el producto deseado hasta el consumidor.

9. OCEAN (Organization and Control Emergence with an Agent Network). Se trata de un sistema descentralizado y de arquitectura abierta, cuyo objetivo es mostrar que la cooperación a nivel global puede aparecer a partir de la competencia entre empresas a nivel individual. Este trabajo se ha realizado en el INSA de Lyon (Francia) y en la Universidad de Montpellier 2 (Francia)

#### 4. Conclusiones

La tendencia actual hacia la competencia en mercados globales hace cada vez más necesario sistemas de integración de la empresa que permitan satisfacer las demandas cambiantes de la forma más eficiente. Una de las posibles vías es a través de la cadena de suministro, que agrupa las actividades que van desde las adquisiciones de materias primas hasta la distribución. Esto lleva a tratar de forma integrada la gestión de los procesos de planificación del conjunto de empresas que constituyen la cadena de suministro. La complejidad que esto tiene hace necesaria la automatización de dichos procesos de gestión. Para ello, una de las posibles alternativas es la utilización de sistemas multiagente que, por sus propias características, nos permiten modelizar de forma natural los procesos generados a lo largo de la cadena de suministro.

#### Referencias

- Botti Navarro, V.J., Giret Noggino, A. (2002) Aplicaciones de los sistemas multiagente en industria. *Agentes Inteligentes: Sistemas Multiagentes y Aplicaciones*. Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Vol. 3, pp.19 - 82
- Ferber, Jacques (1999). Multi-Agent Systems. *An introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison Wesley.
- Lau, H, C.W.; Wong, C.W.Y.; Pun, K.F.; Chin, K.S. (2003) Virtual agent modelling of an agile supply chain infrastructure. *Management Decision* 41/7 pp 625- 634.
- Maturana, F., Shen, W., and Norrie, D. (1999) Metamorph: an adaptive agent-based architecture for intelligent manufacturing. *International Journal of Production Research*, 37(10) pp 2159-2173.
- Parunak, H. and Vanderbok, R. (1998). Modeling the Extended Supply Network. ISA-Tech'98, <http://www.erim.org/cec/pubs.htm>
- Perea- López, Edgar; Ignacio E. Grossmann; B. Eric Ydstie. (2001) Dynamic Modelling and decentralized control of supply chains. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Volume 40, Number 15 pp. 3369 - 3383
- Swaminathan, J.M., Smith, S.F. y Sadeh, N.M. (1998). Modelling supply chain dynamics: A multiagent approach. *Decision Sciences*, 29(3) pp. 607-632.
- Thierry Moyeaux (2002) Techniques multiagents pour la réduction de l'amplification de la demande dans une chaîne logistique : application à l'industrie forestière. *Proposition de recherche au département d'informatique et de génie logiciel de l'Université Laval, Ste-Foy, PQ, Canada.*

Verwijmeren, M. (2004) Software component architecture in supply chain management. *Computers in industry*. 53 pp. 165-178.

Wooldrige, M. and Jennings, N.R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10(2) pp.115-152.