

Manejo de la cadena de suministro mediante un sistema con múltiples agentes colaborativos

Carlos R. Jaimez-González

Departamento de Tecnologías de la Información, Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa, Av. Constituyentes No. 1054, Col. Lomas Altas, C.P. 11950, México D.F.
cjaimez@correo.cua.uam.mx

Resumen La forma de hacer negocios ha cambiado significativamente en las últimas décadas. La gran cantidad de información y las nuevas tecnologías incrementan las expectativas de los clientes con respecto a los productos y servicios que las compañías ofrecen. El Internet ha propiciado el cambio de los procesos de negocio individuales, hacia un modelo de negocios más distribuido, colaborativo, en un ambiente de comercio electrónico, y que se adapta a las condiciones de mercado competitivas y cambiantes. Este artículo presenta un sistema de toma de decisiones, el cual está basado en múltiples agentes colaborativos, explora diferentes estrategias del proceso de producción en su conjunto, y ofrece soluciones para manejar cadenas de suministro en ambientes de comercio electrónico distribuidos. El sistema está diseñado para soportar diferentes tipos de interfaces, que permitan interactuar con los modelos de negocio ya existentes, a través del manejo e integración de la cadena de suministro cooperativa.

Palabras clave: Sistemas multi-agente, comercio electrónico, manejo de la cadena de suministro, tecnología de agentes, agentes colaborativos.

1. Introducción

La forma de hacer negocios ha cambiado significativamente en las últimas décadas. La gran cantidad de información y las nuevas tecnologías incrementan las expectativas de los clientes con respecto a los costos y servicios, así como también la competencia global hace que los líderes en las empresas busquen nuevas formas de abordar los negocios. Ya no están en posición de confiar en estrategias de negocio estáticas, sino que deben ser capaces de enfrentarse a ambientes que cambian rápidamente y que en algunas ocasiones son inciertos, tales como los tipos de cambio bancarios, los cambios en las situaciones políticas, el retraso en la entrega de materiales para producción, las rupturas con proveedores, la falla en instalaciones de producción, la ausencia de trabajadores, la cancelación o cambio de órdenes de clientes, etc.

Las compañías deben llevar a cabo una serie de actividades, tales como el abastecimiento de materiales, la fabricación de productos, el almacenamiento de productos, las ventas y entregas de dichos productos, los servicios al cliente, entre otras. Todas estas actividades deben llevarse a cabo como si fueran un proceso dinámico, de tal forma que se mantenga un balance entre ellas. En una empresa, ésta es precisamente

la tarea principal del “*Supply Chain Management (SCM)*” o “*Manejo de la Cadena de Suministro*”; el cual se encarga de negociar con proveedores para obtener los materiales necesarios para producción, manejar órdenes de los clientes, controlar el inventario, establecer tiempos para la fabricación y entrega de productos, etc.

Tomando en consideración la globalización del mercado, es común que las empresas tengan negocios distribuidos, donde los proveedores y los clientes se encuentran dispersos alrededor del mundo. El desarrollo de las tecnologías de la información ha propiciado que las organizaciones usen el Internet para participar en el comercio electrónico; de esta forma reducen sus costos administrativos y transaccionales, incrementan sus utilidades, e interactúan con un mayor número de socios comerciales en diferentes ubicaciones geográficas. El Internet ha propiciado el cambio de los procesos de negocio individuales, hacia un modelo de negocios más distribuido y colaborativo. Para ser capaces de manejar este modelo, las empresas necesitan una solución, que les permita participar en ambientes de comercio electrónico. Esta solución debe incluir un tipo de sistema que ayude en la toma de decisiones y al mismo tiempo se adapte a los cambios; el cual pueda recabar y procesar información de un gran número de fuentes heterogéneas, así como ayudar a tomar decisiones precisas en condiciones de mercado competitivas y cambiantes. Debido a la necesidad de diseñar estrategias para coordinar e integrar entidades de negocios dentro de estos ambientes, uno de los objetivos de este trabajo es el desarrollo de estrategias con tecnología de agentes para comercio electrónico. Para su implementación y pruebas, es necesario el desarrollo de un sistema para manejar cadenas de suministro en los ambientes mencionados.

Este artículo presenta un sistema de toma de decisiones, el cual está basado en múltiples agentes colaborativos, explora diferentes estrategias del proceso de producción en su conjunto, y ofrece soluciones para manejar cadenas de suministro en ambientes de comercio electrónico distribuidos. El sistema está diseñado para soportar diferentes tipos de interfaces, que permiten interactuar con los modelos de negocio ya existentes de otros participantes, a través del manejo e integración de la cadena de suministro cooperativa. Debido a que el mercado electrónico es un modelo de negocios recientemente establecido y es concebido como una actividad de resolución de problemas distribuido cooperativo, el diseñar sistemas para el manejo de la cadena de suministro se ha vuelto más importante que nunca.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. En la siguiente sección se proporcionan los antecedentes y estado del arte del SCM, su evolución, el enfoque multi-agente, y una plataforma de experimentación. La sección 3 presenta la arquitectura del sistema, y sus seis agentes colaborativos. Algunas estrategias de ventas y producción para agentes de comercio electrónico, son presentadas en la sección 4. Finalmente, se proporcionan conclusiones y trabajo futuro en la sección 5.

2. Antecedentes y estado del arte

Esta sección proporciona algunos antecedentes, y resume el estado del arte en el campo del manejo de la cadena de suministro (SCM) y los sistemas de toma de decisiones para SCM. En particular, la tendencia en estas áreas es moverse de los proce-

tos de negocio estáticos, hacia modelos distribuidos y dinámicos. Los sistemas de toma de decisiones para SCM son actualmente diseñados como sistemas multi-agentes, para soportar dichos modelos. Muchos grupos de investigación alrededor del mundo dedican su trabajo a explorar varios problemas dentro del dominio de SCM, y han llevado a cabo estudios sobre la plataforma de simulación de TAC SCM, la cual es utilizada ampliamente en investigación, y es descrita al final de esta sección.

2.1. Evolución de SCM

SCM es un proceso complejo, el cual incluye una variedad de actividades interrelacionadas, tales como negociación con proveedores para obtener materiales, competencia por ganar órdenes de clientes, manejo de inventario, programación de producción, entrega de productos a clientes. Los conceptos de SCM han sido utilizados por compañías desde principios del siglo XX, inclusive en la literatura se encuentran discusiones desde los años 50 en [1]. En los 80's, la idea de automatizar procesos de negocio a través de SCM se hizo muy popular, sin embargo los expertos trataron cada una de las entidades de la cadena de suministro como un proceso estático aislado del resto. Muchos trabajos de finales de los 90's aún se concentraban en resolver solamente subáreas separadas de SCM [2], [3]. En [4], se empieza a ver el problema de SCM como un ambiente dinámico, y como un proceso integrado con restricciones [5].

Con el surgimiento del WWW, los sistemas de comercio electrónico se han hecho extremadamente populares, principalmente en la última década. Ya se tienen modelos de comercio electrónico integrados, los cuales incluyen a proveedores, clientes, socios comerciales, agentes de comercio electrónico, etc., dentro de un ambiente electrónico global [6]. Recientemente se han propuesto arquitecturas de sistemas para soportar la participación en el comercio electrónico [7]. Muchos investigadores coinciden en que la arquitectura de un sistema de toma de decisiones que soporte SCM debe ser ágil para combatir con la dinámica de los mercados electrónicos, así como también debe ser fácilmente reconfigurable, adaptarse a varios negocios, y soportar varios protocolos de diferentes ambientes comerciales. El enfoque multi-agente ha demostrado ser el más adecuado para cubrir estos requerimientos [8], [9], [10], [11].

2.2. SCM basado en el enfoque multi-agente

Es un hecho que la tecnología de agentes se ha convertido en la herramienta más popular para diseñar sistemas distribuidos para el manejo de la cadena de suministro, ya que proporciona una forma dinámica y adaptable para manejar por separado cada uno de los eslabones de la cadena. A diferencia de los sistemas centralizados, los sistemas de manejo de la cadena de suministro basados en agentes pueden responder rápidamente a los cambios internos o externos a través de la toma de decisiones. En [12] se proporciona una revisión detallada de algunos sistemas basados en agentes, diseñados e implementados con fines industriales.

Otra ventaja de diseñar la solución SCM como un sistema multi-agente es que nos permite separar las diferentes tareas del SCM, explorarlas de manera independiente, y analizarlas en su conjunto. Esta característica es particularmente importante, ya que

nos permite enfocarnos de manera separada en varios aspectos de la cadena de suministro: la parte de la demanda, la cual se refiere a la venta de productos a los clientes; y la parte de la producción, la cual involucra la obtención de los materiales y la fabricación de los productos. En el caso de los vendedores, el principal problema al que se enfrentan cuando manejan sus cadenas de suministro es decidir qué ofertas harán a sus clientes, qué precios les darán, cuándo y a quién vendérselos, etc.; todo esto es con el objetivo de incrementar su utilidad. La tarea no es fácil de resolver en el contexto del comercio electrónico, donde los precios se establecen dinámicamente.

Es importante señalar que se han propuesto varios enfoques para diseñar sistemas de toma de decisiones para SCM basados en agentes [10], y se han desarrollado arquitecturas para comercio electrónico orientadas a agentes [6]. Una descripción de proyectos recientes que utilizan agentes en el contexto de SCM es proporcionada en [13].

2.3. *Trading agent competition SCM*

Dado que es necesario llevar a cabo una serie de experimentos para probar las estrategias de producción y ventas en la cadena de suministro, las empresas reales no ponen en riesgo sus negocios para probar las soluciones propuestas. Para satisfacer esta demanda, se han llevado a cabo varios intentos de crear herramientas de simulación para SCM, que permitan el estudio y experimentación de diferentes algoritmos. Entre estos intentos, destaca el juego denominado TAC SCM [14], el cual es probablemente la mejor plataforma de experimentación para realizar pruebas de sistemas SCM, ya que encapsula muchos de los problemas que pueden ser encontrados en ambientes SCM reales: restricciones de tiempo, oponentes impredecibles, capacidad de producción limitada, etc. Para la experimentación del sistema propuesto, se utilizará esta plataforma, tanto para pruebas de desempeño de la solución del sistema SCM completo, como de las estrategias de producción y ventas implementadas.

Este juego fue diseñado por la Carnegie Mellon University y el Swedish Institute of Computer Science (SICS) en el 2003 como parte de la competencia internacional de agentes de comercio (International Trading Agent Competition) [15]. Este juego permite la competencia de agentes de software en el contexto de SCM, para evaluar sus diferentes propuestas y algoritmos, los cuales buscan diseñar sistemas de toma de decisiones que sean exitosos. Los agentes que participan en esta competencia son desarrollados por diferentes grupos de investigación alrededor del mundo.

En TAC SCM seis agentes compiten entre ellos en una simulación de 220 días, la cual tiene una duración real de 55 minutos. Cada agente es un fabricante que ensambla computadoras, a partir de sus componentes básicos: CPUs, tarjetas madre, memorias RAM, y discos duros. Los CPUs y las tarjetas madre están disponibles en dos familias de productos diferentes: IMD y Intel. Un CPU Intel solamente funciona con una tarjeta madre Intel, mientras que un CPU IMD puede ser incorporado solamente a una tarjeta madre IMD. Los CPUs están disponibles en dos velocidades, 2.0 y 5.0 GHz; las memorias se fabrican en dos tamaños, 1 y 2GB; y los discos duros en dos tamaños, 300 y 500GB. Existen en total diez componentes diferentes, los cuales pueden ser combinados, para tener un total de 16 modelos de computadoras diferentes. Los agentes necesitan obtener estos componentes de 8 proveedores diferentes. Por

otro lado, los agentes necesitan asegurar órdenes de clientes todos los días, para las cuales es necesario ensamblar el número y modelo de computadora requerido en su fábrica, y subsecuentemente entregar los productos terminados. Todos los agentes comienzan el juego sin dinero en sus cuentas bancarias, sin componentes o computadoras fabricadas en su inventario, y sin órdenes de clientes pendientes de entregar. Cada modelo de computadora requiere un número diferente de ciclos para que pueda ser fabricado, y un agente tiene una capacidad limitada de 2000 ciclos de producción al día. El servidor TAC simula a los proveedores, clientes y banco, y proporciona servicios de producción y almacenamiento a cada uno de los 6 agentes que participan. El agente que logre hacer la mayor utilidad al final del juego es el ganador. Las reglas de operación del juego, así como el software requerido para realizar experimentación sobre esta plataforma pueden ser descargados directamente de [15].

3. Arquitectura del sistema

En esta sección se describe la arquitectura del sistema y su comportamiento. El sistema será desarrollado utilizando los principios de los sistemas multi-agente. De esta forma, varios problemas que son encontrados en el dominio de SCM pueden ser sistemáticamente estudiados. Aunque está planeado que el sistema compita en el juego organizado por TAC SCM, la arquitectura del mismo será genérica y reconfigurable, de tal forma que pueda ser adaptada a ambientes similares, así como también pueda ser modificada para cumplir los requerimientos particulares de un negocio específico. Asegurándose que se tenga un sistema multi-agente para SCM, se podrán explorar diferentes problemas de la cadena de suministro por separado. Asimismo el sistema propone la utilización de una arquitectura basada en servicios Web, mediante la cual se permita la convivencia de otros sistemas (agentes) desarrollados con otras tecnologías u otros lenguajes de programación.

En un ambiente comercial, el sistema debe producir ciertas decisiones en la adquisición de materiales, ventas, producción, y entrega de los productos. Para tomar esas decisiones, se deben completar varias tareas, las cuales pueden depender del resultado de otras o ser independientes. Debido a que hay restricción de tiempo para la toma de decisiones, las tareas que son independientes deben de realizarse en paralelo para ahorrar tiempo. El abordar el problema desde una perspectiva basada en agentes es adecuada para cumplir estos requerimientos, y es por ello que sistemas de toma de decisiones para el manejo de la cadena de suministro, son diseñados como sistemas multi-agente. A través de la coordinación y colaboración, los agentes son capaces de manejar las actividades distribuidas a lo largo de la cadena de suministro. El enfoque multi-agente es *“una forma natural de modularizar sistemas complejos”* [13], tal como los sistemas para el manejo de la cadena de suministro.

El sistema consiste de seis agentes, cinco de ellos corresponden a cada una de las entidades en la cadena de suministro: Agente de Demanda, Agente de Suministro, Agente de Inventario, Agente de Producción, y Agente de Entrega; el sexto agente es el Agente Coordinador, el cual se encarga de coordinar el desempeño del sistema, así como también se comunica con el ambiente exterior. Teniendo agentes separados nos

permite la reutilización del sistema por partes, y experimentar con ellas en un amplio espectro de aplicaciones SCM reales, ya que cada agente puede ser fácilmente incluido o quitado del sistema sin arruinar el desempeño del sistema completo. Aunque cada agente tiene sus propias metas, los agentes trabajan en cooperación para alcanzar la meta global común: maximizar la utilidad total. Esta meta, a su vez puede ser dividida en submetas: maximizar la utilidad en ventas, minimizar los precios de compra de materiales, minimizar los costos de almacenamiento de materiales, y minimizar las penalizaciones por entregas tardías.

3.1. Agentes colaborativos

En esta subsección se proporciona una breve descripción de los seis agentes que son utilizados en el sistema.

Agente Coordinador. Es responsable de la comunicación con el ambiente externo (en este caso es el responsable de estar en contacto con el servidor TAC SCM), y de coordinar al resto de los agentes. En particular, este agente tiene las siguientes responsabilidades: actualizar el inventario; actualizar el status de la cuenta bancaria; recibir las ofertas de los proveedores; recibir las solicitudes y órdenes de los clientes; enviar ofertas a los clientes; enviar solicitudes y órdenes a los proveedores; compartir las agendas de producción y entrega de productos con otros agentes; recibir reportes del mercado y de precios; llevar un registro de solicitudes, ofertas, órdenes, agendas de producción y entrega de productos, reportes, y otra información compartida por los otros agentes; y coordinar el desempeño del sistema completo.

Agente de Demanda. Se encarga de las ventas de productos a los clientes. Diariamente recibirá las solicitudes y órdenes de los clientes del *Agente Coordinador*. Para cada una de las solicitudes de los clientes, el agente decide el precio que se le ofrecerá al cliente, mediante la predicción de precios. En la siguiente sección se consideran algunas estrategias que pueden ser implementadas para la predicción de precios de órdenes para los clientes. Este agente debe estar en comunicación con el *Agente de Producción*, para determinar si la fabricación de productos será suficiente para satisfacer las órdenes futuras de los clientes. La meta del *Agente de Demanda* es maximizar la utilidad a partir de las órdenes de los clientes.

Agente de Suministro. Este agente se encarga de generar solicitudes de materiales a los proveedores, considerando su demanda, el nivel actual del uso de los materiales, y el stock disponible. Este agente debe de utilizar estrategias para enviar solicitudes de materiales, y hacer predicciones para garantizar que exista suficiente stock, para que el *Agente de Producción* sea capaz de fabricar productos a partir de los materiales disponibles. Este agente es encargado de realizar un análisis de los precios de los materiales y determinar cuándo ordenarlos para minimizar el precio que se paga por ellos; este análisis puede estar basado en los precios pagados recientemente, los pre-

cios actuales, y los precios proporcionados en el reporte del mercado. Una vez que el *Agente de Suministro* recibe ofertas de parte de los proveedores, está en posición de generar una orden.

Agente de Inventario. Se encarga de la llegada de materiales de los proveedores; de la llegada de los productos terminados enviados por el *Agente de Producción*; del envío de materiales para fabricar productos; y del envío de productos terminados a los clientes. El *Agente de Inventario* lleva un registro de los materiales y productos solicitados por los *Agentes de Producción y de Entrega*, respectivamente, e intenta evitar que el inventario caiga por debajo de un límite establecido, para poder satisfacer las demandas. Para minimizar los costos de almacenamiento, el agente debe de ajustar el límite de materiales y productos de manera dinámica. Este agente se encuentra en comunicación con los *Agentes de Producción y de Suministro*, a través del *Agente Coordinador*, para mantener el stock disponible de productos y materiales.

Agente de Producción. Es responsable de programar la producción actual y proyectar la producción hacia el futuro. Dado que tiene información acerca de las solicitudes y órdenes de los clientes del *Agente de Demanda*, y acerca del stock de materiales del inventario del *Agente de Inventario*, este agente puede programar su producción para satisfacer a sus clientes. Para intentar maximizar la utilidad obtenida, debe considerarse que cada agente tiene una capacidad de producción limitada. Diariamente el agente programa las órdenes de producción dependiendo de sus fechas de entrega, utilidad y disponibilidad de materiales en stock, para posteriormente realizar más solicitudes de materiales si son necesarias (mediante el *Agente de Suministro*).

Agente de Entrega. La tarea de este agente es la entrega de los productos a los clientes, de acuerdo a las órdenes. Para evitar penalizaciones por entregas tardías, este agente programa la entrega de órdenes activas tan pronto como los productos estén listos por parte de la producción. Este agente se encarga de revisar las órdenes de entrega, las ordena por fecha, y realiza las entregas conforme los productos estén disponibles en inventario.

4. Estrategias

Esta sección describe las estrategias que se utilizarán en el sistema. La investigación de estrategias se enfoca en la parte de la demanda (estrategias de ventas) y en la parte de la fabricación de productos (estrategias de producción).

4.1. Estrategias de ventas

La generación dinámica de precios se ha convertido en un concepto importante que regula las relaciones entre vendedores y sus clientes, en los ambientes de comercio electrónico. Las estrategias de ventas con listas de precios fijos para todos los clientes

ya no funcionan, ya que los clientes tienen la posibilidad de comparar precios en minutos utilizando diferentes sitios Web. Los vendedores tienen que ser capaces de reaccionar inmediatamente a los cambios en la situación del mercado, incluyendo cambios en los volúmenes de demanda, las estrategias de sus competidores, y las preferencias de los clientes; también deben de tomar en cuenta sus volúmenes de stock, sus capacidades de fabricación de productos, así como las relaciones con sus proveedores. Estos factores, y algunos otros producen incertidumbre en el proceso comercial. Las subastas en línea han demostrado ser los mecanismos de generación dinámica de precios más eficientes, que permiten a vendedores y a compradores llegar a un acuerdo en los precios cuando participan en actividades de comercio electrónico.

Existen diferentes tipos de subastas en línea que definen diferentes protocolos de negociación entre vendedores y compradores; y uno de los problemas más discutidos acerca de ellas es la determinación del ganador de la subasta. Algunos ejemplos de soluciones que se han propuesto para resolver este problema pueden ser encontrados en [17] y [18]. En particular, se busca atacar el problema de predecir los precios que serán dados a las órdenes de los clientes, utilizando el tipo de subastas conocidas como “*first price sealed bid reverse auctions*”, en las cuales la apuesta de cada apostador es enviada en sobre cerrado, y la apuesta con el menor precio gana la subasta. En el contexto de SCM, el siguiente escenario se lleva a cabo: un número determinado de fabricantes ofrecen al cliente sus precios del producto que solicitó; sin saber entre ellos los precios que cada uno ofrece al cliente. El cliente hace la orden al fabricante que le ofrece el menor precio. La capacidad de un fabricante para predecir el precio más bajo propuesto por sus oponentes es crucial, ya que así se puede tener una estrategia exitosa que les ayude a maximizar su utilidad.

Las estrategias que serán exploradas e implementadas son descritas brevemente a continuación. Una estrategia es predecir la probabilidad de que el precio ganador de la subasta esté en un intervalo determinado, y realizar una apuesta de acuerdo al precio más probable. Otra estrategia es predecir los precios basados en los detalles de las solicitudes de los clientes, la situación del mercado, y los resultados de subastas previas, y apostar de acuerdo al precio de la predicción. La tercera estrategia consiste en predecir los precios más alto y más bajo de las órdenes de los clientes, para cada producto, basados en una serie de tiempo para esos precios, y apostar entre los valores de la predicción. Otra estrategia es modelar el comportamiento del competidor y los precios que ofrece, y apostar justo por debajo de ellos. Para llevar a cabo lo anterior se propone utilizar técnicas estadísticas y de aprendizaje, tales como redes neuronales y programación genética, para intentar resolver el problema de predicción de precios. A diferencia de los métodos tradicionales de análisis técnico y estadístico, los métodos de aprendizaje pueden reaccionar a irregularidades del mercado más exitosamente, y así proporcionar resultados más adecuados, en condiciones de un SCM dinámico.

4.2. Estrategias de producción

Uno de los grandes problemas dentro de la cadena de suministro es determinar cuándo ordenar materiales, para fabricar los productos que han sido solicitados por los clientes. Por ejemplo, si un fabricante ordena materiales para que lleguen en un futuro

lejano, esto trae el beneficio de la reducción de costos de almacenamiento, ya que los materiales no estarían en bodega. Por otro lado, esto puede traer la incertidumbre de si los materiales llegarán en la fecha determinada, además de que la demanda del cliente es desconocida, y no puede darse una predicción al respecto. Las necesidades de producción pueden satisfacerse más adecuadamente si se conoce la demanda de los clientes por adelantado. Adicionalmente a estos problemas, es necesario considerar los riesgos que existen en el caso de que los proveedores se nieguen a vender materiales (debido a su capacidad de producción limitada y a la competencia en el mercado), o entreguen los materiales después de la fecha en la que eran requeridos.

Una estrategia de abastecimiento mixta, puede consistir de que el agente coloque una combinación de órdenes con un tiempo largo y con un tiempo corto, de tal forma que si el resto de los agentes que están compitiendo ordenan materiales con tiempos cortos, entonces el proveedor tendrá poca capacidad de producción libre, y de esa manera los precios correspondientes serán mayores que aquéllos de las órdenes con tiempo largo. En esta estrategia debe de observarse la importancia de un agente para ser capaz de automáticamente cambiar su estrategia, entre el abastecimiento cercano o lejano, ya que habrá que analizar las estrategias de los otros agentes competidores.

Relacionado con la producción, también está el manejo del inventario. Una estrategia debe también considerar el nivel del inventario, tanto en materiales como en productos terminados. Por ejemplo, puede mantenerse un nivel de inventario basado en la demanda esperada del cliente por un número de días determinado, de tal forma que el límite del inventario sea calculado a partir de los productos solicitados en un determinado número de días. Otra estrategia relacionada con el inventario, sería mantener el inventario y ordenar materiales solamente después de haber ganado las órdenes de productos de los clientes, de esta forma también se reducen costos de almacenamiento, ya que tan pronto como llegan los materiales, pasan a producción, y tan pronto como son fabricados, son entregados al cliente. Una predicción adecuada de la capacidad de los proveedores y de los tiempos de retraso en las entregas, ayudaría mucho para resolver el problema. De la misma forma que con la parte de ventas, se buscarán estrategias que permitan de manera dinámica ajustar las agendas de producción, tomando en cuenta los factores ya mencionados.

5. Conclusiones y trabajo futuro

El Internet ha propiciado el cambio de los procesos de negocio individuales, hacia un modelo de negocios más distribuido, colaborativo, en un ambiente de comercio electrónico, y que se adapta a las condiciones de mercado competitivas y cambiantes. Este artículo presentó un sistema de toma de decisiones, el cual está basado en seis agentes colaborativos, explora diferentes estrategias del proceso de producción en su conjunto, y ofrece soluciones para manejar cadenas de suministro en ambientes de comercio electrónico distribuidos. El sistema está diseñado para soportar diferentes tipos de interfaces, que permitan interactuar con los modelos de negocio ya existentes, a través del manejo e integración de la cadena de suministro cooperativa.

Este sistema se encuentra en desarrollo, por lo cual el trabajo futuro incluye la implementación y pruebas de las estrategias en la plataforma de experimentación TAC SCM, en la cual se estará en posibilidad de competir con otros sistemas de agentes internacionales para medir el desempeño del sistema propuesto.

Referencias

1. Forrester, J.W.: Industrial dynamics - a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 36(4):37–66 (1958)
2. Cheng, F., Ettl, M., Lin, G.: Inventory-service optimization in configure-to-order systems. Technical Report RC 21781, IBM (2001)
3. Hu, J., Wellman, P.: Multiagent reinforcement learning: Theoretical framework and an algorithm. In: 15th International Conference on Machine Learning, pp. 242-250, (1998).
4. Swaminathan, J.M., Smith, S.F., Sadeh, N.M.: Modeling supply chain dynamics: A multi-agent approach. *Decision Science*, 29(30):607–632 (1998)
5. Sun, J., Sadeh, N.M.: Coordinating multi-attribute reverse auctions subjects to finite capacity considerations. Technical report, Carnegie Mellon University (2004)
6. Ghenniwa, H., Dang, J., Huhns, M., Shen, W.: Multiagent-Based Supply Chain Management, chapter eMarketPlace Model: An Architecture for Collaborative Supply Chain Management and Integration, pp. 29–62. Springer-Verlag (2006)
7. Wang, M., Liu, J., Wang, H., Cheung, W.K., Xie, X.: On-demand e-supply chain integration: A multi-agent constraint-based approach. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 34(4):2683–2692 (2008)
8. Jennings, N.R., Wooldridge, M.J.: *Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets*. Springer (1998)
9. He, M., Jennings, N.R., Leung, H.: On agent-mediated electronic commerce. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 15:985–1003 (2003)
10. Chaib-draa, B., Muller, J.P.: *Multiagent-Based Supply Chain Management*, volume 28 of *Studies in Computational Intelligence*. Springer-Verlag (2006)
11. Wang, Y., Fang, L.: Design of an intelligent agent-based supply chain simulation system. *Systems, Man and Cybernetics*, page 1836 1841 (2007)
12. Shena, W., Haoa, Q., Yoona, H.J., Norrie, D.H.: Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: *Advanced Engineering Informatics*, 20(4): 415–431 (2006)
13. Moyaux, T., Chaib-draa, B., D'Amours, S.: *Multiagent based Supply Chain Management*, chapter *Supply Chain Management and Multiagent Systems: An Overview*, pages 1–27. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2006)
14. Collins, J., Arunachalam, R., Sadeh, N., Eriksson, J., Finne, N., Janson, S.: The supply chain management game for the 2007 trading agent competition. Technical Report CMU-ISRI-07-100, Carnegie Mellon University (2006)
15. Trading Agent Competition. Disponible en: <http://www.sics.se/tac/>. Ultimo acceso en mayo de 2012
16. Pontrandolfo, P., Gosavi, A., Okogbaa, O.G., Das, T.K.: Global supply chain management: A reinforcement learning approach. *International Journal of Production Research*, 40(6):1299 1317 (2002)
17. Bapna, R., Goes, P., Gupta, A.: Predicting bidders' willingness to pay in online multiunit ascending auctions. *Inform Journal on Computing*, 20(3):345–355 (2008)
18. Skitmore, M.: Predicting the probability of winning sealed bid auctions: the effects of outliers on bidding models. *Construction Management & Economics*, 22(1):101–109 (2004)