

Mejora de la Fiabilidad del Servicio al Cliente en las Cadenas de Suministro Colaborativas: Un Scheduler basado en SMA*

Pedro Gómez Gasquet¹, Rubén Darío Franco¹, Raúl Rodríguez Rodríguez¹, Ángel Ortiz Bas¹

¹ Centro de Investigación de Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP) de la Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n Valencia. pgomez@cigip.upv.es, dfranco@cigip.upv.es, raurodro@upvnet.upv.es, aortiz@cigip.upv.es

Resumen

La teoría de la coordinación de redes proporciona las bases para explicar como las compañías pueden superar los límites organizacionales y las restricciones para gestionar conjuntamente los procesos de negocio a través de la cadena de suministro. En particular, este trabajo se centra en la programación colaborativa de un proceso donde varios socios comercializadores activan mecanismos de coordinación on-line entre las firmas para planificar actividades clave de forma conjunta, desde producir a entregar materias primas o productos finales a los clientes. Se presenta un caso de estudio de la industria cerámica donde se proporciona un marco teórico que contribuye a explicar las relaciones entre los mecanismos de coordinación inter-firmas y las características de interdependencia entre los actores involucrados en la implementación. Para automatizar el proceso de coordinación se presenta un marco generalizado basado en agentes que usan negociación para programar las demandas de forma dinámica. Los nuevos trabajos se crean dinámicamente y pueden requerir potencial colaboración o recursos de uno o más actores/agentes. La asignación de recursos para compatibilizar la llegada de un evento con el programa en curso es negociada iterativamente hasta alcanzar un compromiso. La propuesta consiste en un modelo de usuario, una función de utilidad y un protocolo de negociación.

Palabras clave: Cadena de Suministro, Programación Dinámica, Sistema Multiagente.

1. Introducción

Este trabajo presenta una introducción a la problemática de la gestión de pedidos dentro de las cadenas extendidas de venta colaborativa (ECOSELL), donde se realiza una identificación de objetivos y requerimientos necesarios para este entorno. El concepto de ECOSELL se sustenta en proporcionar un servicio aumentado al cliente al ofrecer productos complementarios que se entregan en un mismo paquete (de aquí surge el concepto de paquete de productos, P-P). Las principales operaciones consideradas en un contexto ECOSELL son la planificación, programación y monitorización, con el objetivo final de encontrar una fecha de entrega acordada con el cliente final. Se proponen diferentes papeles para los actores y se detectan procesos fundamentales dentro del entorno ECOSELL.

Finalmente, se presenta una arquitectura basada en un Sistema Multiagente (SMA) para tratar el problema descrito, haciendo énfasis la función del programador de la producción

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por la Unión Europea con referencia GRD1-2001-40692, y con acrónimo "ECOSELL".

(scheduler) y en el proceso de negociación del SMA con los diferentes actores de la cadena de suministro para alcanzar ofertas competitivas.

2. Colaboración en la Cadena de Suministro

Hoy en día, la globalización y la mejora de la competitividad nacional, europea y mundial han promovido la creación y consolidación de los que se ha denominado Empresa Extendida (EE), la cual trasciende el dominio de una empresa y establece meta-empresas. Estas meta-empresas pueden ser definidas como redes de compañías complementarias que trabajan conjuntamente para proporcionar más valor a sus clientes y mejorar el capital humano, de conocimiento, operacional o estructural (Dyer (2000)).

Muchas EE existentes se han centrado inicialmente en reforzar sus lazos y flujos entre las organizaciones involucradas en la misma cadena (Macbeth (1998)). Recientemente, el fenómeno se ha orientado hacia la creación de EE que rompen las barreras de una cadena, y enlazan diferentes cadenas de valor complementarias estableciendo cadenas de venta colaborativas (conocido como entorno ECOSELL por su acrónimo en inglés Extended Collaborative Selling Chain). Muchas compañías industriales han vendido y distribuido sus productos agregados conjuntamente durante mucho tiempo y ahora se enfrentan con el reto de la integración completa de sus cadenas (Burton y Boeder (2003)).

Una tendencia reciente en las meta-empresas ha empezado a transformar su tradicional modelo de relación de negocios “win-lose/lose-win”, donde para que una empresa gane como resultado del proceso de colaboración otra/s tiene/n que perder, en modelos “win-win”, donde todos los integrantes de la colaboración ganan. El mismo modelo colaborativo se requiere para las cadenas de suministro colaborativas. El punto de inicio de cualquier meta-cadena de valor con un enfoque ganador es la colaboración, donde los conceptos inherentemente implican agilidad y aprendizaje de la capacidad e aprendizaje (Meier (1995)).

La cadena de venta se centra en la gestión del ciclo de vida de los pedidos, desde la orden inicial a la entrega y provisión del bien físico, cubriendo la parte de la cadena de valor va desde los fabricantes a los clientes (incluyendo plataformas/operadores logísticos, intermediarios, etc.). El proceso de comprometer un pedido incluye al conjunto de actividades que se deben de realizar para dar una respuesta a los requerimientos del cliente (ver figura 1).

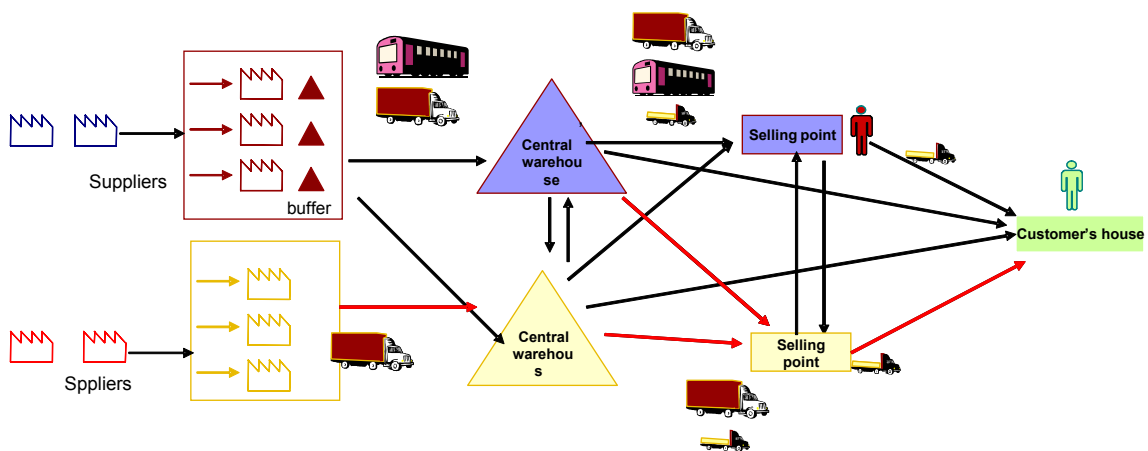


Figura 1 Ilustración de una cadena de suministro colaborativa

En una cadena de venta colaborativa, el pedido del cliente está compuesto por un paquete de productos (P-P), que es un conjunto de productos que es vendido conjuntamente como un solo elemento. La complejidad del proceso de comprometer un pedido puede llegar a ser mayor para un P-P, por:

- Con el objetivo de satisfacer el pedido de un P-P, se deben coordinar algunas cadenas de suministro con estrategias de producción muy diferentes.
- Se deben definir diferentes lógicas de sincronización de las entregas: Los productos individuales que forman parte del P-P pueden ser entregados en diferentes instantes o localizaciones.

3. Procesos Colaborativos en el Marco ECOSELL

El proceso de negocio considerado en este estudio incluye la planificación, programación y monitorización de pedidos. El objetivo de estos procesos es la entrega de pedidos en el instante acordado (ver figura 2).

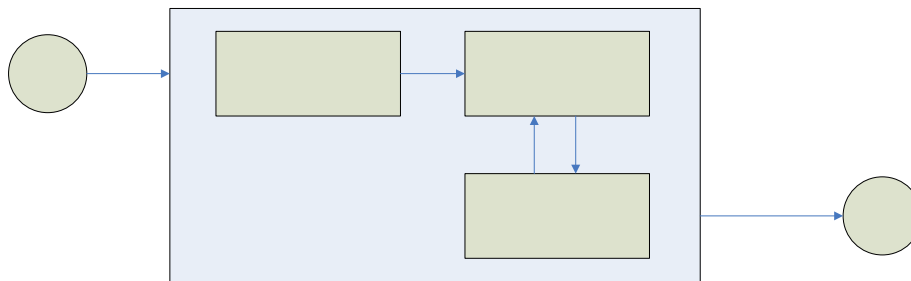


Figura 2. Entorno Ecosell.

El entorno Ecosell debe tratar con un conjunto de procesos de negocio interrelacionados, que son definidos brevemente a continuación:

1. Planificación de los pedidos: Los clientes buscan P-P en un punto de venta (PV). Este proceso tiene en cuenta la disponibilidad, capacidad, restricciones e inventario disponible en la misma tienda, para preparar el “programa de instalación”, que no es sino una calendario tentativo que incluye todas las tareas necesarias para disponer del producto final en las instalaciones del cliente. Cada producto del paquete puede proceder de una cadena de suministro diferente (con diferentes ciclos y tiempos de producción), el calendario puede variar, incluso, entre paquetes similares.
2. Programación de los pedidos: Una vez el calendario está disponible, el sistema debe chequear los requerimientos del pedido del cliente en cada punto de distribución (lugares con disponibilidad física de productos o capacidad de fabricarlo), siempre teniendo en cuenta las condiciones específicas del pedido (fecha, cantidad o coste). Entonces, se inicia un proceso de negociación para buscar opciones factibles para el pedido, basadas en el calendario del paquete. Una vez el cliente ha elegido su opción, el sistema evalúa el pedido en cada proveedor y este lo incluye en su programa de producción.
3. Monitorización de los pedidos: El ciclo de vida del pedido finaliza cuando los productos que constituyen el paquete son entregados al cliente. En el transcurso, varios eventos pueden afectar al programa original (retrasos, problemas de calidad, fallos en proveedores, etc.). Si una de estas circunstancias afecta al “camino crítico” del pedido, el sistema debe iniciar el proceso de reprogramación para asignar nuevas fechas en función de las circunstancias.

Es posible identificar los papeles de diferentes actores:

- Cliente: Configura un pedido, y basado en su configuración, se establece un calendario común compuesto de actividades interrelacionadas y fechas de finalización de los trabajos por parte de las cadenas de suministro (cada una representa a un producto del paquete).
- Punto de venta: Recibe los requerimientos del cliente, comprueba la disponibilidad de los productos y también crea un conjunto formado por los productos, precios y fechas que conforman la oferta al cliente.
- Operador logístico: Mueve los productos desde los almacenes a las instalaciones del cliente.
- Cadena de suministro (Representantes del producto): Proporcionan una interfaz que puede ser usada para crear pedidos sobre algún producto específico.
- Mediador: Facilita las tareas de negociación, programación, reglas para soporte a la toma de decisiones, y mecanismos de monitorización.

Este escenario presenta un conjunto de características que incrementan el grado de complejidad:

- Las empresas deben trabajar cooperativamente para coordinar la programación descentralizada de todas las actividades de la cadena de suministro involucradas, ya que todas ellas tienen sistema de programación de la producción heterogéneos.
- La incertidumbre sobre la situación en las plantas debe ser tomada en cuenta.
- La interdependencia entre los procesos productivos que son realizados en las diferentes plantas debe ser tomada en cuenta.
- La existencia de programas de producción locales para las diversas plantas que persiguen objetivos locales deben ser configurados para alcanzar los objetivos globales.

4. Sistema Multiagente como Soporte a la Colaboración Extendida

Se han realizado un gran número de trabajos de investigación aplicando los conceptos de los sistemas multiagente a la mejora de la coordinación de actividades distribuidas en entornos productivos (Baker (1999), Kim et al. (1999), Shen et al. (1999)). Las características fundamentales de estos sistemas pueden resumirse en las siguientes:

- Los sistemas distribuidos y autónomos, aunque coordinados, parecen más apropiados que los sistemas centralizados y complejos que no reflejan las particularidades de cada etapa.
- La propuesta de un SMA supone la existencia de un conjunto de agentes heterogéneos que se integran optimizando programas con objetivos diferentes relacionados con procesos diferentes.
- Los SMA proporcionan las bases para la creación de una arquitectura que posibilita la reducción de complejidad, la flexibilidad, la escalabilidad y la tolerancia a fallos.
- Un sistema de planificación/programación autónomo y distribuido basado en SMA se caracteriza por mejorar la reactividad ante eventos y está potencialmente capacitado para resolver problemas de programación dinámica.
- Un SMA mantiene su funcionalidad a pesar de fallos individuales puntuales. Es fiable.
- Un SMA es inherentemente modular y permite una rápida respuesta ante nuevas necesidades del sistema.
- Un SMA es abierto permitiendo la integración de dinámica de nuevos agentes, eliminación de los existentes o actualización de los mismos con diferentes funcionalidades.

- Los Agentes operan de forma asíncrona pudiendo realizar trabajos en paralelo, por lo que pueden aumentar la velocidad de respuesta.

En el siguiente apartado se presenta una aproximación innovadora mediante la aplicación de los principios de sistemas multiagente para la venta paquetes de productos a través de una red de puntos de venta donde se demandan mecanismos efectivos y eficientes de negociación y coordinación para asegurar el adecuado cumplimiento de los pedidos.

5. Un caso de Estudio

El caso de estudio que se presenta se corresponde con las tiendas-franquicia de una determinada marca relacionada con los productos relativos a baños y cocinas. En concreto el caso que se ha desarrollado se ha centrado la gestión del pedido relacionado con los baños. Se trata de poder servir a los clientes paquetes de productos que pueden estar formados por: baldosas cerámicas, sanitarios, muebles y/o iluminación.

5.1. Descripción Conceptual

El proceso se inicia cuando un cliente final entra en una tienda e identifica un conjunto de productos de su interés que forma un pack para su cuarto de baño. Estos productos deben ser servidos e instalados en casa del cliente cumpliendo un calendario que debe respetar las siguientes restricciones:

1. El rango de fechas entre los cuales el cliente desea disponer del pack instalado en su casa.
2. Las dependencias entre las operaciones de instalación de cada producto. Existe un manual de operaciones que determina el orden y la relación entre ellas.
3. Minimización del periodo comprendido entre el inicio y el final de la instalación en casa del cliente.

El sistema de gestión de pedidos debe encontrar una oferta adecuada para cada solicitante en función de las restricciones anteriores, y debe solventar eventos inesperados realizando reprogramaciones que respeten la fecha de entrega comprometida o una muy cercana en caso de ser imposible respetarla.

Para poder satisfacer la petición del cliente, se debe intentar disponer de los diversos materiales, estableciendo fechas de entrega de cada uno de ellos mediante negociación con otras tiendas (nacionales o internacionales), representantes de la cadena de suministro (cerámica, sanitarios, muebles y/o iluminación) y/o transportistas.

Se establece como objetivos para cada oferta maximizar R (ec. 1) y minimizar $nweeks$, tal que R es la suma R_i (ec. 2), el beneficio obtenido en cada producto del pack después de la negociación con cada cadena de suministro, y $nweeks$ es el número de semanas transcurridos entre la fecha más favorable propuesta por el cliente y la de entrega del pack. La función objetivo propuesta es (ec.3). Para cada oferta el vendedor podrá fijar el valor mínimo de R y el comprador el valor máximo de $nweeks$.

$$(ec. 1) R = \sum_i R_i$$

(ec. 2) $R_i = (PS - \sum C)$, donde PS es el precio de venta en catalogo (fijo) y C la suma de todos los costes (proveedores y transporte).

(ec. 3) $f = \frac{\sum_i R_i}{nweeks}$

La tabla I ilustra un ejemplo de la evolución de la función objetivo en el cual se producen dos negociaciones de un paquete de productos.

Requerimientos de Programación:
Beneficios Mínimos: 500 Euros
Número de semanas desde ahora: 10

	Valor de la Función	Cerámica	Sanitarios	Muebles	Iluminación
Ofertas Iniciales	Beneficio: 1200 Fecha e.: 6 S F=200	Beneficio: 350€ Fecha e.: 6 S.	Beneficio: 200€ Fecha e.: 3 S.	Beneficio: 500€ Fecha e.: 6 S.	Beneficio: 150€ Fecha e.: 2 S.
Proceso de negociación en el 2 paso	Beneficio: 650 Fecha e.: 3 S F=216,7		↓ Beneficio: 200€ Fecha e.: 3 S.	Beneficio: 300€ Fecha e.: 3 S.	↓ Beneficio: 150€ Fecha e.: 2 S.
	Beneficio: 850 Fecha e.: 3 S F=283,3	Beneficio: 200€ Fecha e.: 3 S.	↓ Beneficio: 200€ Fecha e.: 3 S.	↓ Beneficio: 300€ Fecha e.: 3 S.	↓ Beneficio: 150€ Fecha e.: 2 S.
Proceso de Negociación abortado	Beneficio: 250 Fecha e.: 2 S F=125			Beneficio: 100€ Fecha e.: 2 S.	↓ Beneficio: 150€ Fecha e.: 2 S.

Tabla I. Un ejemplo de la evolución de la función objetivo, en un proceso de negociación.

En la tabla anterior se observa un ejemplo de cómo evolucionan los valores correspondientes a la función objetivo en base a los beneficios aportados por cada producto y la fecha de entrega forzada por el producto con peor tiempo de respuesta. En la primera fila se muestran los resultados correspondientes a la primera petición (petición sin reprogramación). En las filas 2 y 3 se muestra el primer proceso de negociación en dos pasos. En el paso uno se selecciona el producto (mueble), que con peor tiempo de respuesta, aporta mayor beneficio y se solicita una oferta con reprogramación. El representante del producto responde con una entrega en 3 semanas reduciendo el beneficio a 300 €. Como se observa esta oferta supone un incremento de la función objetivo (aún sin contar con la aportación del producto cerámico). No se rechaza y se da un segundo paso para la negociación de la oferta con el representante del producto cerámico. Como se ve el representante del producto cerámico responde con una oferta, que confirma la posibilidad de entrega del paquete de productos y no se rechaza. En este estado, en el que se ha conseguido disponer de una entrega del paquete de productos en 3 semanas, se graba dicha opción y se inicia el proceso de una nueva mejora. En la última fila se intenta seguir mejorando la función objetivo, empezando a negociar con el producto que mas beneficio aporta después de la última ronda. La negociación se cancela al no poder superar el último valor de la función objetivo, y al no poder alcanzar el beneficio mínimo de 500 Euros. Se aceptan las 2 últimas ofertas negociadas (mueble -300€, 3s-, producto cerámico -200€,3s-

5.2. Relación entre la Organización y los Papeles del Sistema Multiagente

En este caso de estudio, se representa un entorno ECOSELL mediante un sistema multiagente. En nuestro caso, cada actor está representado por un agente. Así se crea un agente cerámico, un agente mueble, un agente sanitarios, y una agente iluminación en el papel

de representantes de la cadena de suministro, los agentes Vendedor y Interfase de Usuario en el papel de punto de venta y clientes del nivel de red de ventas (ver Figura 3).

Los agentes de cadena de suministro no se comunican entre ellos. Ellos sólo se comunican con el agente programador de pedidos para negociar ofertas o con el monitor en caso de aparición de eventos. De la misma forma, los agentes ventas o interfase no se comunican con los puntos de venta, sólo con el agente configurador de paquetes.

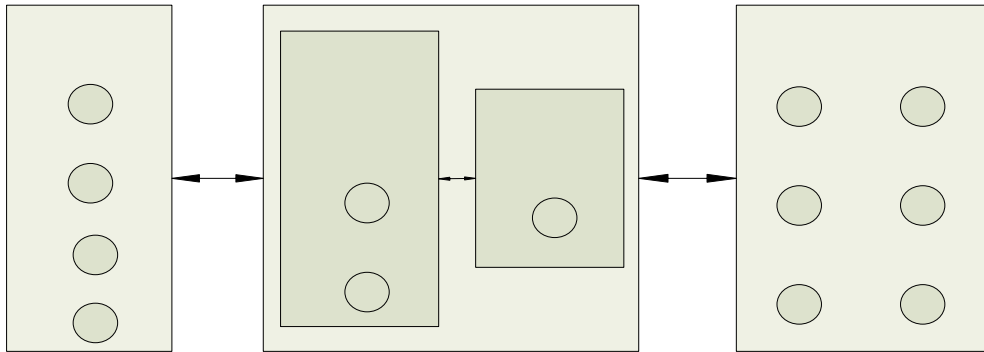


Figura 3. Arquitectura del Sistema Multiagente.

5.2.1. Agente Configurador de Paquetes

El agente configurador de paquetes tiene como objetivo coordinar el pedido con el agente interfase de usuario (generador de una solicitud de oferta) y el resto de agentes. El agente configurador de paquetes se relaciona con el resto de agentes venta para solicitar estados de inventario de otros almacenes y con el agente programador de pedidos para solicitar producir algún producto. La meta final es completar una oferta competitiva y enviársela al agente interfase de usuario.

Una vez el agente configurador de paquetes recibe una petición del agente interfase de usuario tiene como tareas:

- Identificar incoherencias de carácter técnico en el pedido.
- Configurar un Gantt sin fechas a partir del grafo de dependencias de los ítems.
- Identificar los productos que van a ser servidos desde otros puntos de venta de acuerdo con la política de ECOSELL (según existencias y distancias entre los puntos).
- Una vez completadas las acciones de las tareas anteriores se envía una solicitud al agente programador de pedidos para completar la oferta si ello es necesario. Esta solicitud incluirá el grafo de dependencia, la lista de productos a fabricar y los parámetros de beneficio mínimo y periodo de entrega enviados por el agente interfase de usuario.

Una tarea opcional del agente configurador de paquetes es convertir una oferta en pedido en firme después del que el agente interfase de usuario así se lo notifique. En este caso el agente configurador de paquetes enviará una confirmación de oferta al agente programador de pedidos con un identificador.

5.2.2. Agente Programador de Pedidos

El agente programador de pedidos tiene como objetivo obtener una programación para la entrega del paquete de productos con el mejor valor de función objetivo que pueda encontrar.

Nivel de Cadena de Suministro

Agente Cerámica

AC

Agente Mueble

AM

Agente Sanitarios

AS

Cada Agente nivel de se comunic sólo con Agent Monito program or

Este Objetivo implica solicitar ofertas a los agentes del nivel de cadena de suministro necesarios para completar la oferta enviada por el agente configurador de paquetes. Así mismo inicia un proceso de mejora de las ofertas recibidas hasta alcanzar una oferta adecuada.

El mecanismo habilitado con este agente sólo se puede obtener a través de un complejo proceso, realizado por el agente de cadena de suministro, en el que deben intervenir proveedores, fabricantes, etc. de la cadena de suministro en cuestión, y cuyo resultado final depende de los intereses de los miembros de la cadena y del estado de la misma en cada ocasión.

En caso de que el agente configurador de paquetes confirme una determinada oferta el agente programador de pedidos hará lo mismo con cada una de las ofertas implicadas enviando un mensaje de confirmación a cada agente implicado del nivel de cadena de suministro.

En caso de una reprogramación forzada el agente programador de pedidos intentará buscar una fecha de entrega nueva que cumpla los parámetros solicitados inicialmente y notificará de ello al agente configurador de paquetes para que avise al punto de venta (agente interfase de usuario).

5.2.3. Agente Monitor

El agente monitor tiene como objetivo de recibir de los agentes del nivel de cadena de suministro los eventos que pudieran estar relacionados con los diferentes pedidos comprometidos. El agente monitor evaluará si el evento afecta o no a las fechas comprometidas. En caso afirmativo enviará una petición de reprogramación al agente programador de pedidos, indicando el producto comprometido. El Scheduler actuará de la misma forma que si procediese del agente configurador de paquetes.

5.2.4. Relación entre el Agente Programador de Pedidos y los Agentes del Nivel de Cadena de Suministro

El agente programador de pedidos seguirá un proceso de petición de ofertas al agente del nivel de cadena de suministro y evaluación de las misma según su algoritmo de programación, en base al cual las rechazará o aceptará. Se distinguen dos niveles de dificultad en agente de cadena de suministro para dar respuesta a una petición de oferta:

- Cuando el agente de cadena de suministro no realiza ningún tipo de reprogramación entre sus programas. Es decir, la petición se cubre con programas previstos con anterioridad a la petición, o con nuevos programas.
- Cuando el agente de cadena de suministro permite evaluar opciones que suponen reprogramación. Es este caso se fuerza un cambio, que puede o no tener consecuencias para otro cliente, y que puede suponer un coste superior en la oferta.

El primer caso se utilizará para buscar la oferta mas cerca a la fecha de inicio solicitada por el cliente en una cadena de suministro. Dado que este tipo de ofertas no suponen ningún coste adicional, la cadena de suministro fijará como coste del producto su valor estándar. El segundo caso, se utilizará cuando se solicita una fecha de entrega en un día determinado que es imposible de cumplir sin mover una orden ya programada. Dado que este tipo de ofertas suponen un coste adicional, la cadena de suministro incrementará el valor estándar del

producto. El valor del producto nunca superará un determinado valor sobre el valor estándar y depende de lo complejo que suponga ubicarla (depende normalmente de lo próxima que se encuentre la fecha solicitada de la actualidad). El cálculo de este tipo de ofertas puede ser tremendamente complejo ya que iniciar otro proceso de reprogramación. Por este motivo no se permite que el scheduler provoque múltiples procesos de evaluación de ofertas con reprogramación simultáneamente.

5.2.5. El Proceso de Negociación entre el Agente Programador de Pedidos y el Agente Cadena de Suministro

El diagrama de actividad de la Figura 4 representa al agente programador de pedidos negociando con todos los agentes del nivel de cadena de suministro. Las acciones clave de este algoritmo han sido numeradas.

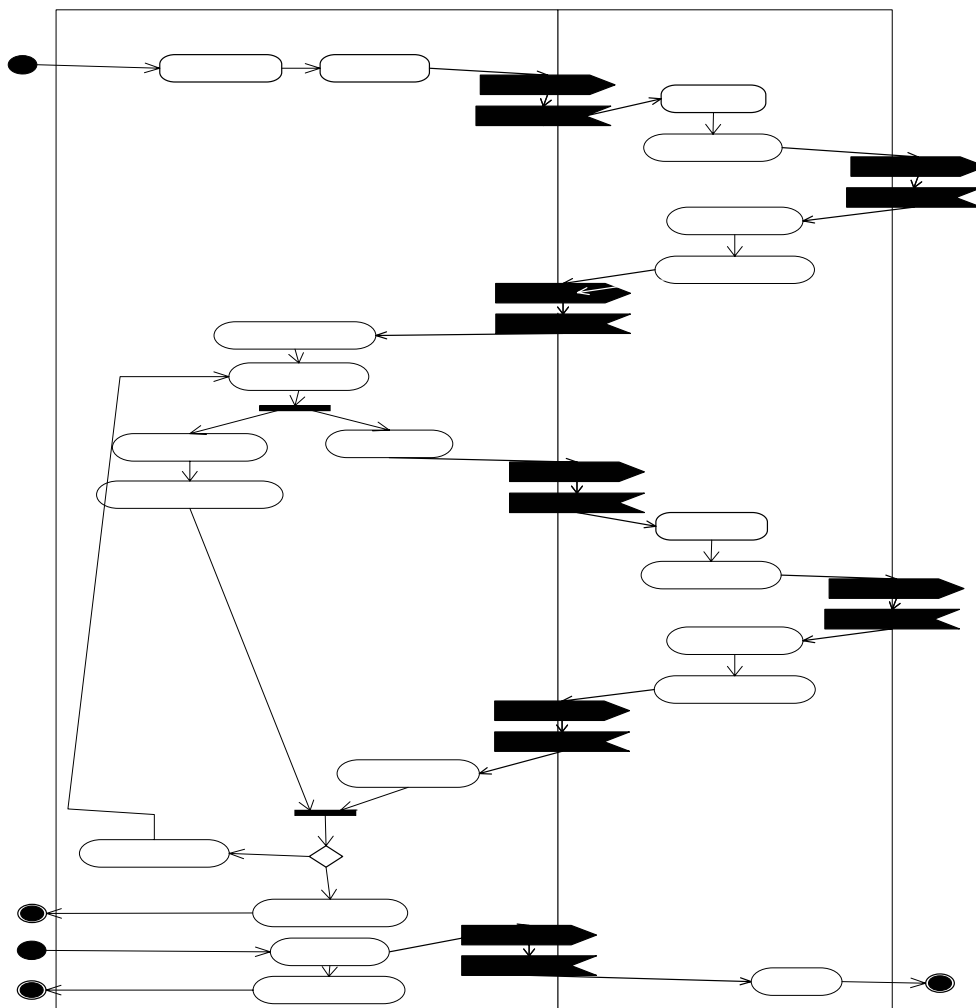


Figura 4. Diagrama UML de actividades del algoritmo de negociación.

6. Conclusiones

Este trabajo ha presentado la problemática de la gestión de pedidos dentro de las cadenas extendidas de venta colaborativas (ECOSSELL), donde se han identificado los objetivos y requerimientos necesarios de dicho entorno. Así mismo, se han resaltado las principales

actividades del contexto ECOSELL (gestión de pedidos, programación y monitorización) y se ha identificado los principales roles o papeles de relacionados con éstas.

Con el objeto de abordar una solución al problema identificado se ha mostrado mediante un caso de estudio un arquitectura Multiagente orientada a la función de programación de la producción y al proceso de negociación que permite alcanzar un programa factible con la participación de todos los participantes involucrados en las diferentes cadenas de suministro.

Referencias

- Baker, A.; Van Dyke Parunak, H.; Kutluhan Erol(1999).”Agents and The Internet: Infrastructure for Mass Customization”. IEEE Internet Computing, Vol 3, N° 5
- Burton, T.T.; Boeder, S.M (2003): The Lean Extended Enterprise: Moving Beyond the Four Walls to Value Stream Excellence. J. Ross Publishing, Inc. Florida.
- Dyer, J. H. (2000), Collaborative Advantage: Winning Through Extended Enterprise Supplier Networks. Oxford University Press. New York.
- Kim, K.; Paulson, B. Jr.; Petrie, Ch. Jr, (1999). “Agent-Based Electronic Markets for Project Supply Chain Coordination”. Papers from the AAAI Workshop. Technical Report WS-00-04.
- Macbeth, (1998), Partnering Strategy Implementation in the Supply Chain, Strategic Management of the Manufacturing Value Chain, Bittici U., Carrie A. (Edits.) Kluwer
- Meier, J. (1995), The importance of relationship management in establishing successful interorganizational systems, Journal of Strategic Information Systems, Volume 4, Issue 2, pp. 135-148
- Shen, W.; Ulieru, M.; Norrie, D.; Kremer, R. (1999).”Implementing the internet enabled supply chain through a collaborative agent system”. In Proceedings of Agents'99 Workshop on Agent Based Decision-Support for Managing the Internet-Enabled Supply-Chain.