

AGENT BASED MODELING AND MULTIAGENT SYSTEMS

Arquitectura de un modelo de simulación basado en sistemas multi-agente de una red de suministro en el sector del automóvil.

Xavier Puig Bernabeu¹, Jose Pedro Garcia-Sabater¹, Julien Maheut¹

¹ ROGLE Dpto. de Organización de Empresas, Edificio 7D, Camino de Vera s/n. Universidad Politécnica de Valencia. 46021 Valencia-España. xapuiber@etsii.upv.es, jpgarcia@omp.upv.es, juma2@etsii.upv.es

Resumen

El modo habitual de modelar cadenas de suministro, por sus evidentes ventajas es la simulación de eventos discretos. Sin embargo en ese tipo de modelos el modelador pierde visibilidad sobre el flujo de información que es al menos tan relevante como el flujo de materiales. La inestabilidad de la demanda y la creciente complejidad de las cadenas de suministro hace que las herramientas tradicionales para la planificación vayan quedando obsoletas, y lo mismo ocurre con las herramientas de simulación, en tanto dan visiones parciales del problema. En este trabajo se presenta una arquitectura basada en modelado de sistemas multi-agente que permite simular el comportamiento de una red de fabricación en función de características como la distancia entre los agentes, su competencia entre sí, o la variabilidad de la demanda, con el fin de entender los flujos de información que hacen más robustas las redes de fabricación reales.

Palabras clave: Red de suministro, Simulación, Caso de estudio, Sistema Multi-agente.

1. Introducción

Con la coordinación entre empresas, se consigue conformar un producto más competitivo, gracias a una combinación más adecuada de los recursos disponibles a lo largo de una cadena de fabricación. De hecho, uno de los mayores problemas a los que se enfrentan las redes de fabricación y cadenas de suministro es el del control de la capacidad total del sistema (Santoso et al., 2005).

Las necesidades del cliente han cambiado en las últimas décadas: los clientes quieren menores costes y mayor calidad (Sherali, 2008). Con esto, cada vez se está haciendo más complicado diseñar herramientas de planificación que sean eficaces y posiblemente, muchas de las que lo son se quedan obsoletas en poco tiempo debido a factores críticos como el aumento de la complejidad, cambios de estrategias de algunos miembros de la red, etc. Con el fin de entender estos sucesos y el comportamiento de dichas redes de fabricación, una arquitectura en multi-agente permitiría simular el comportamiento de una red de fabricación en función de características como la distancia entre los agentes, su cantidad (competencia) o la demanda y su evolución.

La arquitectura propuesta, objeto de este artículo, permite la simulación del funcionamiento de fábricas productoras y de una red de fabricación compuesta por distintas empresas manufactureras y proveedoras de material, para poder predecir el comportamiento del mercado ante las distintas acciones tomadas en cada planta de fabricación. Se pretende

observar cómo reaccionaría la competencia y los clientes a diversas decisiones y estados del mercado.

El resto del artículo se organiza de la forma siguiente. En la segunda sección, se hace una breve revisión del estado de la cuestión. A continuación, se describe el modelo propuesto. En la cuarta sección se aplica el modelo presentado a una red de suministro del sector automovilístico. Finalmente, se presenta una conclusión y las futuras líneas de investigación.

2. Revisión del estado de la cuestión

La simulación hace que la investigación sea posible y útil cuando, en la situación real, la experimentación puede ser demasiado costosa o imposible por razones éticas, o más bien cuando las decisiones y sus consecuencias están distanciadas en el espacio y el tiempo (Fujimoto y Leonard II, 2002; Luck et al., 2005; Surana et al., 2005). En dirección de operaciones es usual utilizar alguno de estos tres paradigmas para la simulación: Dinámica de Sistemas (SD), Simulación Discreta (DE), y Modelado Basado en Agentes (ABM).

El modelado basado en agentes permite modelar situaciones con complejidad creciente. Los sistemas que se tratan de analizar y modelar son cada vez más complejos. Las herramientas de modelado tradicionales no son tan aplicables como lo han sido en el pasado (Macal y North, 2005).

Tuma (1998) destaca los sistemas multi-agente como medio de reparto de sub-tareas entre los participantes de un proyecto. De hecho, los entornos multi-agente son adecuados para el estudio de temas de coordinación de múltiples agentes autónomos o semiautónomos, en donde el conocimiento está deslocalizado y los agente se comunican a través de mensajes (Bond y Gasser, 1988).

Los modelos de simulación que describen organismos individuales (Individual Based Models, IBM) o agentes (Agent-Based Models, ABM) se han convertido en herramientas muy utilizadas, no sólo en el campo de la ecología, sino también en otras disciplinas con sistemas complejos formados por entidades autónomas tales como ciencias sociales, economía, demografía, geografía, o ciencias políticas (Grimm et al., 2006).

El uso de ABM en investigación para la gestión de una cadena es bastante reciente. Swaminathan et al. (1998) utilizan el concepto de agentes para proponer un marco de modelos flexibles que permita el rápido desarrollo de herramientas de apoyo personalizadas para la gestión de decisiones en la cadena de suministro. En este sentido, la mayoría de trabajos realizados definen un modelo basado en agentes para representar cadenas de suministro como Swaminathan et al. (1998), o Brueckner et al. (2004) que tratan el complejo caso del sector de la automoción.

La tecnología de agentes está recibiendo una gran atención en los últimos años y, como consecuencia, la industria está comenzando a interesarse en adoptar esta tecnología para desarrollar sus propios productos (Iglesias, 1998; Marik y Lazanský, 2007).

Los avances en computación han hecho posible un mayor número de aplicaciones basadas en agentes en varios campos (Macal y North, 2005). Es probable que la evolución de las tecnologías de agentes y de fabricación vaya de la mano. Los primeros pueden recibir las aportaciones reales de esta última, que, a su vez, tendrá cada vez más beneficios en la aplicación de tecnologías de agentes (Monostori et al., 2006).

En cuanto a la definición de agente, la mayoría de autores suelen coincidir en muchos aspectos. Según Barbuceanu y Fox (1995) los agentes son entidades autónomas, integrables y colaborativas, que trabajan normalmente como sistemas separados. Kaegi et al. (2009) definen agente como objetos con capacidad tales como adquirir reglas de conducta, autonomía, cooperación, movilidad, memoria y capacidad de aprendizaje. Bonabeau (2002) los considera como cualquier tipo de componente independiente (software, modelo, individuo, etc.). Otros autores opinan que para que pueda ser considerado como agente, su comportamiento debe tener una componente adaptativa (Mellouli et al., 2003). Podemos afirmar, por tanto, que los agentes son unidades autónomas, es decir, que controlan sus propias acciones con el fin de lograr un objetivo (Parker et al., 2003), programables con capacidad de decisión y adaptación a los cambios según las condiciones del entorno, y que se pueden relacionar con otros agentes. Kaegi et al. (2009) remarcan además, que la cooperación es la característica principal de un agente, y que comprende la percepción, acción y comunicación.

Los sistemas basados en agentes se utilizan para representar el comportamiento que unos agentes pueden tener a partir de las decisiones de otros que pertenezcan a un mismo entorno, es decir, la evolución en entornos dinámicos. Esto justifica la autonomía de los agente, pues deben adaptarse a los cambios del entorno. Kaegi et al. (2009) definen que la idea básica de sistema del ABM consiste en modelar únicamente los agentes de un sistema específico, y simular su interacción con el objetivo de analizar el comportamiento global del sistema. Para que un sistema sea considerado multi-agente, es necesario que, además de la coexistencia de distintos agentes en un mismo entorno, haya una interacción y un proceso de negociación entre ellos. Considerando que la decisión lógica tomada por un agente depende de las acciones tomadas por sus vecinos, entonces se crea un problema recursivo en donde la estrategia de cada agente es anticiparse a las decisiones de sus vecinos (Parker et al., 2003).

Algunos autores han demostrado que los sistemas basados en agentes pueden proporcionar ventajas competitivas tales como la reducción de los costes de aprovisionamiento por medio del cálculo de políticas de adquisición más provechosas, o la mejora de la eficiencia de los procesos de fabricación en entornos dinámicos (Luck et al., 2005).

3. Descripción de la arquitectura de modelo de simulación propuesto

3.1. Justificación del empleo de sistemas multi-agente

El modelo propuesto, está creado bajo el paradigma de Modelado Basado en Agentes, pues con respecto a cadenas de suministro y redes de fabricación, se pretende analizar específicamente el flujo de información, más que el de materiales. La comunicación entre diferentes representantes de un entorno puede marcar la vía de fabricación o montaje de ciertos productos.

Dentro de la interacción que se pueda dar entre los distintos agentes, es relevante el proceso de negociación que se produce entre ellos. Cuando un cliente desea un producto, hará pública una subasta, preguntando a todos sus proveedores, con el fin de obtener la mejor oferta, consiguiendo, al mismo tiempo, una mayor eficiencia en la red de fabricación. Ésta es la razón principal del empleo de sistemas multi-agentes frente a otros paradigmas de modelado como pueda ser sistemas discretos.

Este modelo, se basa en el propuesto por Lloret et al. (2009) en donde se describe la re-programación de una cadena de suministro colaborativa.

3.2. Los diferentes nodos considerados

El modelo propuesto está compuesto por varios agentes, a los que llamaremos nodos de la red de fabricación. Estos agentes se comunican entre ellos mediante mensajes que representan flujo de información y flujo de materiales. Además, se tienen en cuenta las operaciones de transporte, ya que pueden ser influyentes en la simulación.

Cuatro tipos de nodos distintos se consideran: Cliente (CL), Fábrica 1 (F1), Fábrica 2 (F2), Proveedor (PR).

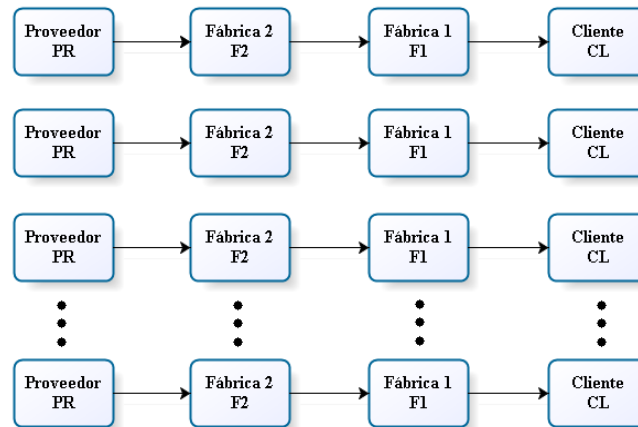


Figura 1: Representación del Modelo de la Red de Fabricación. Fuente: Elaboración Propia.

El nodo CL es quien genera las demandas de productos y quien desencadena todo el flujo de mensajes dentro de la red de fabricación. Cada nodo CL representa a un cliente del sistema, y mantiene una ubicación geográfica fija, que influirá en el precio y tiempo de entrega de las ofertas recibidas. El flujo de actividades que realiza cada nodo CL es el siguiente:

1. El cliente tiene la necesidad de algún producto. Por tanto, genera una demanda, y la envía a todas las fábricas de montaje de la red.
2. Espera a recibir todas las ofertas de las fábricas, y elige la mejor de ellas. En cada caso puede interesar el mejor precio o el menor tiempo de entrega, según la necesidad de cada cliente.
3. Una vez seleccionada la oferta más conveniente, generará el pedido definitivo que confirmará solamente a la fábrica que se la envió. Al resto de fábricas, se le comunica el rechazo de su oferta.
4. Por último, recibe el material demandado y lo almacena.

Los nodos F1 y F2 representan empresas manufactureras que generan productos semi-elaborados (caso de F2) y productos finales (caso de F1). Al igual, que los nodos CL, tienen una ubicación fija, pero en este caso puede variar debido a poca asignación de pedidos, de modo que se acerquen más a donde se genera la oferta o a los proveedores. En otros casos, cuando la demanda sea mucho mayor que la capacidad de producción, se pueden modificar la capacidad de cada fábrica. Estas decisiones, se engloban en un conjunto de decisiones estratégicas, que se toman a largo plazo, a partir de datos históricos.

El flujo de actividades que realiza cada nodo F1 ó F2 es el siguiente:

1. El cliente o fábrica de mecanizado envía una demanda. Por tanto, la fábrica genera una sub-demanda de componentes o de materias (dependiendo de si es F1 o F2, respectivamente), y la envía a cada nodo F2 ó PR. En el supuesto caso de que una fábrica no puede producir algo, por falta de capacidad o por falta de tecnología, reenvía la demanda a otra fábrica.
2. Una vez recibe todas las ofertas de los nodos F2 ó PR, elige la mejor de ellas. Posteriormente, lanza una oferta a la demanda inicial (que provenía de CL ó F1).
3. En caso de ser asignado, definitivamente un pedido, cada fábrica confirmará también su pedido de componentes o materias primas a F2 ó PR, respectivamente.
4. Por último, recibe el material demandado y lo envía al nodo que se le había pedido, ya sea CL ó F1.

El nodo PR es el que abastece de materia prima a toda la red. Su flujo de operaciones es muy similar al de los otros nodos:

1. El proveedor recibe una demanda de materias primas por parte de los F2.
2. En caso de poder abastecer la demanda recibida, se contesta con una oferta. Si no se puede abastecer, se responde que no se puede proporcionar las materias demandadas.
3. Si se ha podido cumplir una demanda y el F2, le ha confirmado el pedido, se pone a fabricarlo, y lo envía.

Recorriendo las etapas de un producto durante su desarrollo, PR es quien se encarga de conseguir la materia prima que pasará a F2. Éste realizará las operaciones pertinentes para generar un producto semi-elaborado, que se destinará a F1. En este nodo se realizan otras operaciones distintas para conformar finalmente el producto acabado, que se entregará a CL.

El flujo de información entre los distintos agentes que intervienen en el modelo es el de a siguiente figura:

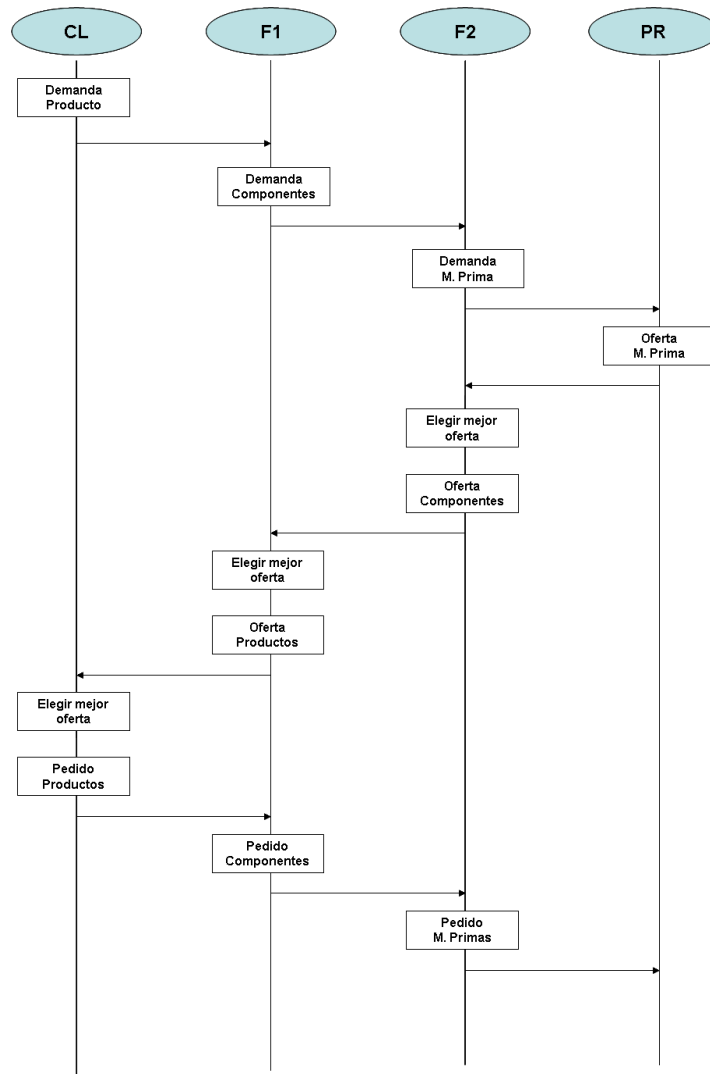


Figura 2 Flujo de información entre los distintos nodos del modelo. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Las operaciones de transporte

Las operaciones de transporte de materiales se ven reflejadas mediante un tiempo y un coste. No existe ningún agente específico que se encargue de realizar el transporte, por lo que esta acción está representada mediante un aumento del *lead time* en cada etapa. Además, el coste de la operación de transportar se incluye dentro del coste de producto o materia prima, y corre a cuenta del comprador. Cada agente tiene una ubicación física representada mediante distancias relativas con el resto de agentes, con lo que dependiendo de la distancia, el coste y tiempo de transporte serán mayores o menores.

3.4. Comunicación entre los nodos

Los nodos del Modelo de Simulación se intercomunican de la siguiente manera:

El CL genera demandas de productos y las envía a todos los F1 que componen la red de fabricación. Cada F1 calcula los componentes necesarios para poder fabricar el pedido solicitado, y genera unas demandas de componentes que se envían a los respectivos F2. Los F2 reciben las demandas de componentes y comprueban si tienen capacidad para producirla.

En caso de no poder producir aquello que se les demanda, se realiza out-sourcing con otros F2. Cuando se verifica la capacidad de producción, se generan unas demandas de materia prima que se envían a todos los PR existentes.

Después de comprobar la disponibilidad de materia prima y los costes para abastecer la demanda, los F2 hacen una oferta de productos incluyendo cantidad, fecha y costes. Al recibir esta oferta, los F2 eligen al PR que mejor cumple sus expectativas y le transmite una oferta a los F1 y/o F2 considerados, con toda la información necesaria (fecha de entrega, costes, cantidades) de los componentes. A continuación, los F1 hacen lo mismo con el CL, que deberá elegir entre las propuestas recibidas.

La negociación se acaba cuando el CL elige una oferta y transmite su elección a toda la red de suministro.

3. Aplicación a una Red de Fabricación de motores

La red de fabricación de motores en la cual se aplica el modelo propuesta es la descrita por García-Sabater et al. (2009a; 2009b). Una planta de motores está compuesta básicamente por cinco líneas de mecanizado de componentes y una de montaje de motores. Las cinco líneas de mecanizado son las de sus cinco piezas principales (Bloque, Culata, Biela, Cigüeñal y Árbol de levas), y los demás complementos o piezas utilizadas, vendrán directamente de los proveedores y no se tendrán en cuenta a la hora de la simulación.

A partir de esta configuración, las líneas de mecanizado se corresponderían con el agente F2 del modelo propuesto, y la línea de montaje con el agente F1.

El número total de líneas de mecanizado es rígido puesto que, como se trata de motores, sólo hay cinco componentes principales. Por tanto, sólo habrá cinco tipos de F2.

Finalmente, los proveedores y consumidores finales están representados por los agentes PR y CL, respectivamente.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se representa el diagrama de flujo de operaciones de la Red de Fabricación de Motores, agrupando los dos tipos de Fábrica en una sola que realiza todas las operaciones.

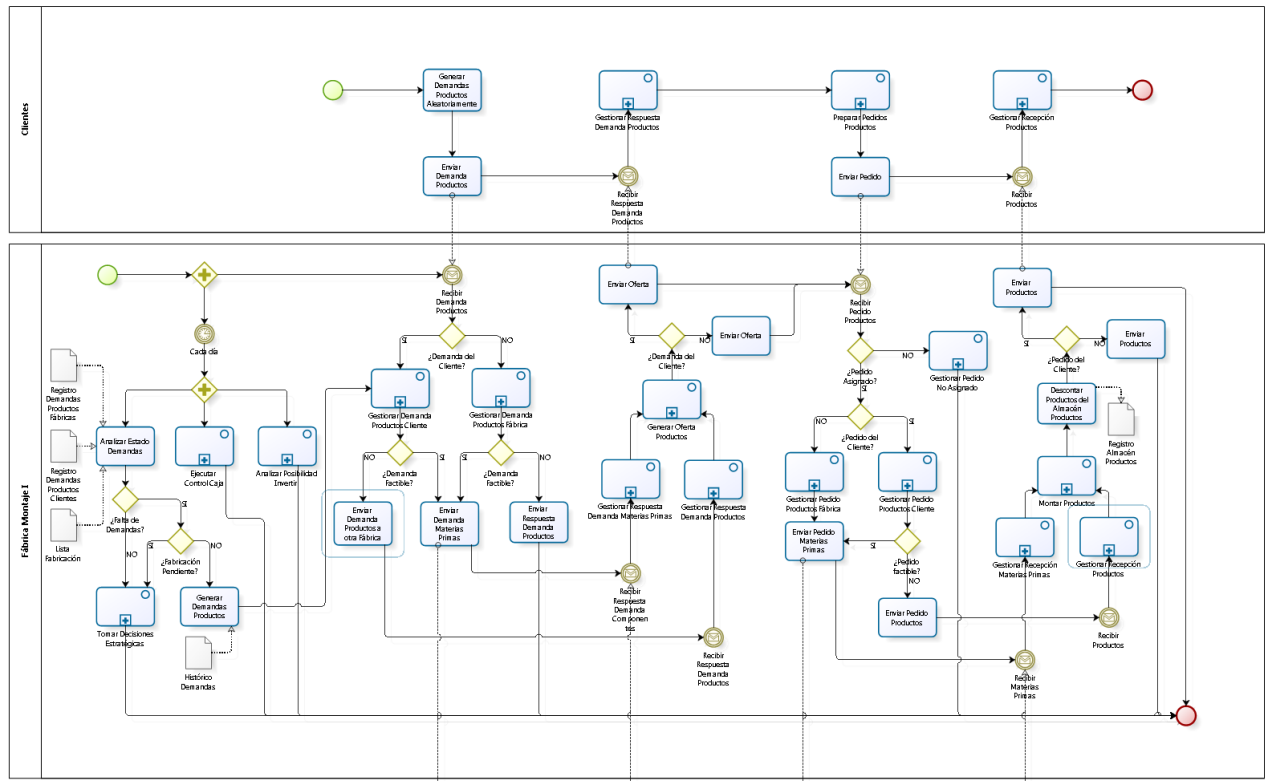


Figura 3 Representación de la arquitectura de comunicación de los agentes con notación BPM (I). Fuente: Elaboración propia.

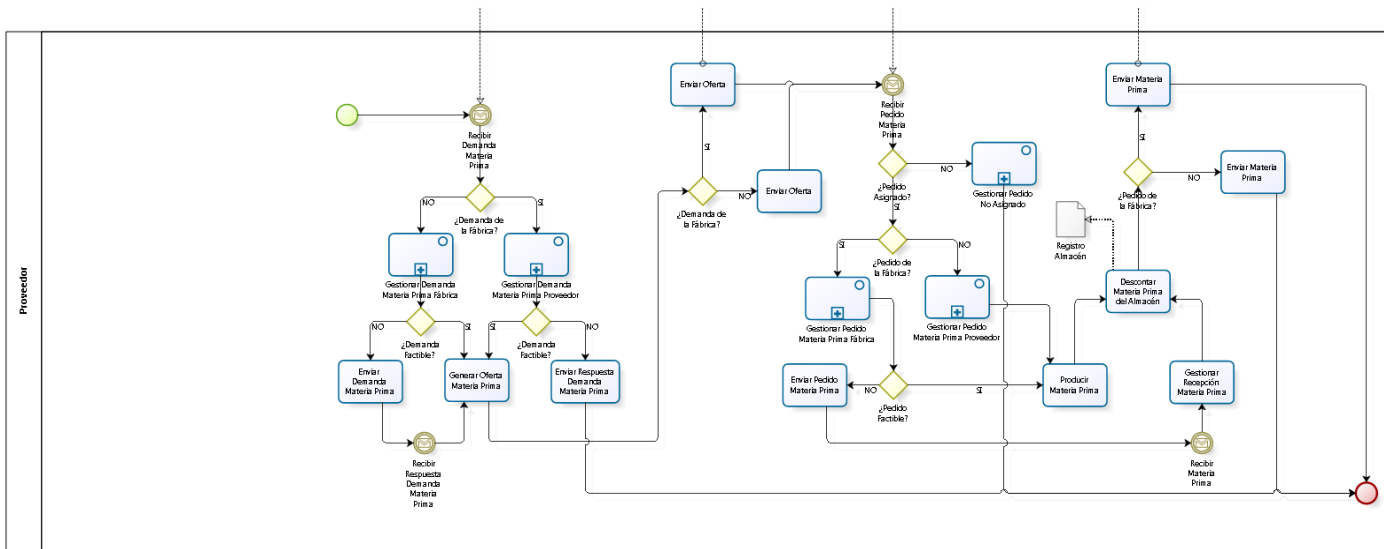


Figura 4 Representación de la arquitectura de comunicación de los agentes con notación BPM (II). Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Este artículo presenta un modelo para la simulación de redes de fabricación, con el objetivo poder observar el comportamiento de los distintos participantes ante cambios producidos en el mercado en que operan o en la misma red. El modelo se aplica al caso particular de una red real de fabricación de motores.

Simulando el modelo creado, particularizándolo para cada aplicación, se consiguen resultados que pueden ayudar a modificar el comportamiento de una red de suministro de modo que se consiga un resultado lo más eficiente posible.

Para la simulación de sistemas multi-agente es necesario tener presentes los siguientes requerimientos:

- Caracterizar todos los agentes presentes en la simulación.
- Definir la información a la que tiene acceso cada agente.
- Crear un patrón de comportamiento para cada agente, es decir, los criterios que deberá seguir en las negociaciones.
- Identificar las distintas relaciones que puedan darse entre los agentes.
- Establecer un protocolo de comunicación entre los agentes participantes.
- Tener presentes los datos iniciales que necesita el modelo para su puesta en marcha.
- Elegir el software de simulación.

La herramienta recomendada para la simulación del modelo propuesto es AnyLogicTM. Existe un gran número de programas para el desarrollo de modelos mediante los paradigmas de simulación enumerados al inicio del artículo. Sin embargo, tan sólo ofrecen la posibilidad de trabajar con un único enfoque, mientras que AnyLogicTM es un programa multi-paradigma, es decir, permite utilizarlos todos.

Tal y como ocurre en este caso, la utilización del lenguaje de programación Java permite la fácil integración de programas exteriores escritos en ese lenguaje, al igual que se pueden leer todo tipo de archivos, ya sean ficheros de texto, hojas de cálculo o base de datos, llamando las funciones idóneas. En nuestro caso, los datos de entrada de la simulación se leen desde archivos de hojas de cálculo externos.

Para facilitar la construcción del modelo, se dispone de librerías donde están compiladas las funciones básicas. Desarrollado en la plataforma de software Eclipse y escrito en el lenguaje Java, AnyLogicTM tiene sistemas de análisis y detección de errores durante la programación, la compilación y la ejecución de la simulación, los cuales especifican la ubicación de los mismos, así como su posible causa.

Las líneas a seguir en este sentido son crear modelos adaptativos de empresas al comportamiento general de los mercados, en donde no sólo se perciban los cambios en otros agentes, sino que se intente adaptar a ellos.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado

Referencias.

Barbuceanu, M. & Fox, M. S. (1995). The architecture of an agent based infrastructure for agile manufacturing, in Workshop on Intelligent Manufacturing.

Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, Vol. 99, pp. 7280-7287.

Bond, A. H.; Gasser, L. (1988). An analysis of problems and research in DAI, Readings in Distributed Artificial Intelligent, pp. 4-46. Morgan Kaufmann Publishers.

Brueckner, S.; Baumgaertel, H.; Parunak, V.; Vanderbok, R.; Wilke, J. (2004). Agent Models of Supply Network Dynamics, pp. 315-343.

Fujimoto, R. & Leonard II, J. (2002). Grand challenges in modeling and simulation urban transportation systems, in The First International Conference on Grand Challenges for Modeling and Simulation.

Garcia-Sabater, J. P., Maheut, J., Garcia-Sabater, J. J. (2009a). A Capacited Material Requirements Planning Model considering Delivery Constraints: A Case Study from the Automotive Industry.

Garcia-Sabater, J. P., Maheut, J., Garcia-Sabater, J. J. (2009b). A Decision Support System for Aggregate Production Planning based on MILP: A Case Study from the Automotive Industry, in 39th International Conference on Computers & Industrial Engineering, pp. 366-371.

Grimm, V.; Berger, U.; Bastiansen, F.; Eliassen, S.; Ginot, V.; Giske, J.; Goss-Custard, J.; Grand, T.; Heinz, S. K.; Huse, G.; Huth, A.; Jepsen, J. U.; Jorgensen, C.; Mooij, W. M.; Müller, B.; Pe'er, G.; Piou, C.; Railsback, S. F.; Robbins, A. M.; Robbins, M. M.; Rossmanith, E.; Rüger, N.; Strand, E.; Souissi, S.; Stillman, R. A.; Vabo, R.; Visser, U.; DeAngelis, D. L. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. Ecological Modelling, Vol. 198, n°. 1-2, pp. 115-126.

Iglesias, C. (1998): Definición de una metodología para el desarrollo de Sistemas Multi-agente, Departamento de ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid.

Kaegi, M. (2009). Analyzing maintenance strategies by agent-based simulations: A feasibility study. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 94, n°. 9, pp. 1416-1421.

Lloret, J.; Garcia-Sabater, J. P.; Marin-Garcia, J. A. (2009). Cooperative Supply Chain Rescheduling: The Case of an Engine Supply Chain, en B. Springer (dir), Lecture Notes in Computer Science, Volume 5738/2009, pp. 376-383.

Luck, M., McBurney, P., Shehory, O., Willmott, S. (2005). Agent technology: computing as interaction - a roadmap for agent-based computing.

- Macal, C. M. & North, M. J. (2005). Tutorial on agent-based modeling and simulation, in Winter Simulation Conference, p. 14.
- Marik, V.; Lazanský, J. (2007). Industrial applications of agent technologies. Control Engineering Practice, Vol. 15, n°. 11, pp. 1364-1380.
- Mellouli, S., Mineau, G., Moulin, B. (2003). Laying the foundation for an agent modeling methodology for fault-tolerant multi-agent systems, in Fourth International Workshop Engineering Societies in the Agents World.
- Monostori, L.; Váncza, J.; Kumara, S. R. T. (2006). Agent-Based Systems for Manufacturing. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 55, n°. 2, pp. 697-720.
- Parker, D. C.; Manson, S. M.; Janssen, M. A.; Hoffmann, M. J.; Deadman, P. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. Annals of the association of American Geographers, Vol. 93, n°. 2, pp. 314-337.
- Santoso, T.; Ahmed, S.; Goetschalckx, M.; Shapiro, A. (2005). A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty. European Journal of Operational Research, Vol. 167, n°. 1, pp. 96-115.
- Sherali, H. D. (2008). A quantitative approach for scheduling activities to reduce set-up in multiple machine lines. European Journal of Operational Research, Vol. 187, n°. 3, pp. 1224-1237.
- Surana, A.; Kumara, S.; Greaves, M.; Raghavan, U. N. (2005). Supply-chain networks: a complex adaptive systems perspective. International Journal of Production Research, Vol. 43, n°. 20, pp. 4235-4265.
- Swaminathan, J. M.; Smith, S. F.; Sadeh, N. M. (1998). Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach. Decision Sciences, Vol. 29, n°. 3, pp. 607-632.
- Tuma, A. (1998). Configuration and coordination of virtual production networks. International Journal of Production Economics, Vol. 56-57, pp. 641-648.