

## **Evaluación de proveedores en una cadena de suministro mediante dinámica de sistemas**

**Manuel Díaz-Madroño<sup>1</sup>, Josefa Mula<sup>1</sup>, Francisco Campuzano<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigación de Gestión e Ingeniería de Producción. Universidad Politécnica de Valencia.  
fcodiama@cigip.upv.es, fmula@cigip.upv.es

<sup>2</sup>Dpto. Economía de la Empresa. Universidad Politécnica de Cartagena.  
francisco.campuzano@upct.es

### **Resumen**

*En este artículo se propone un modelo de simulación basado en la dinámica de sistemas para la evaluación de proveedores en una cadena de suministro. El propósito de este trabajo es facilitar el proceso de selección de proveedores en el nivel de decisión táctico, en función de su productividad y del posible efecto sobre los clientes finales de la cadena de suministro. Además del desarrollo de los diagramas causales y los diagramas de flujos pertinentes, el modelo resultante se aplica a una versión simplificada de una cadena de suministro ejemplo.*

**Palabras clave:** gestión de la cadena de suministro, evaluación de proveedores, aprovisionamiento, dinámica de sistemas.

### **1. Introducción**

Ninguna empresa es responsable en su totalidad de la competitividad de sus productos y servicios desde la perspectiva del cliente final, sino de la cadena de suministro (CS) como un todo (Stadtler 2002). Así pues, la gestión de la CS es una forma de supervisar el flujo de productos e información a lo largo de la CS con el objetivo de optimizar las decisiones relativas a ésta, reduciendo inventarios, aumentando el beneficio de los productos terminados y haciendo llegar a los consumidores aquello que demandan (Ding et al. 2005).

Según Weber et al. (1991), una gran parte de los costes de las empresas industriales corresponden a la compra de materias primas, módulos y componentes a proveedores externos. Por lo tanto, la selección y evaluación de proveedores es una de las actividades de mayor importancia en la CS, ya que la selección de un proveedor erróneo puede deteriorar la posición financiera y operacional de una CS (Araz y Ozkarahan 2007). En este sentido, las decisiones relativas a la selección de proveedores son complejas a causa de la cantidad de criterios que han de tenerse en cuenta de forma simultánea en el proceso de toma de decisiones. El análisis de estos criterios y la medición del rendimiento de proveedores ha atraído la atención de la comunidad científica desde la década de los 60 (Ding et al. 2005), cabe destacar los trabajos de Dickson (1966) y Weber et al. (1991). Por su parte, Barbarosoglu y Yazgac (1997) establecen los criterios principales siguientes para la selección de proveedores: (1) el rendimiento del proveedor; (2) la capacidad técnica y financiera del proveedor; y (3) el sistema de calidad del proveedor.

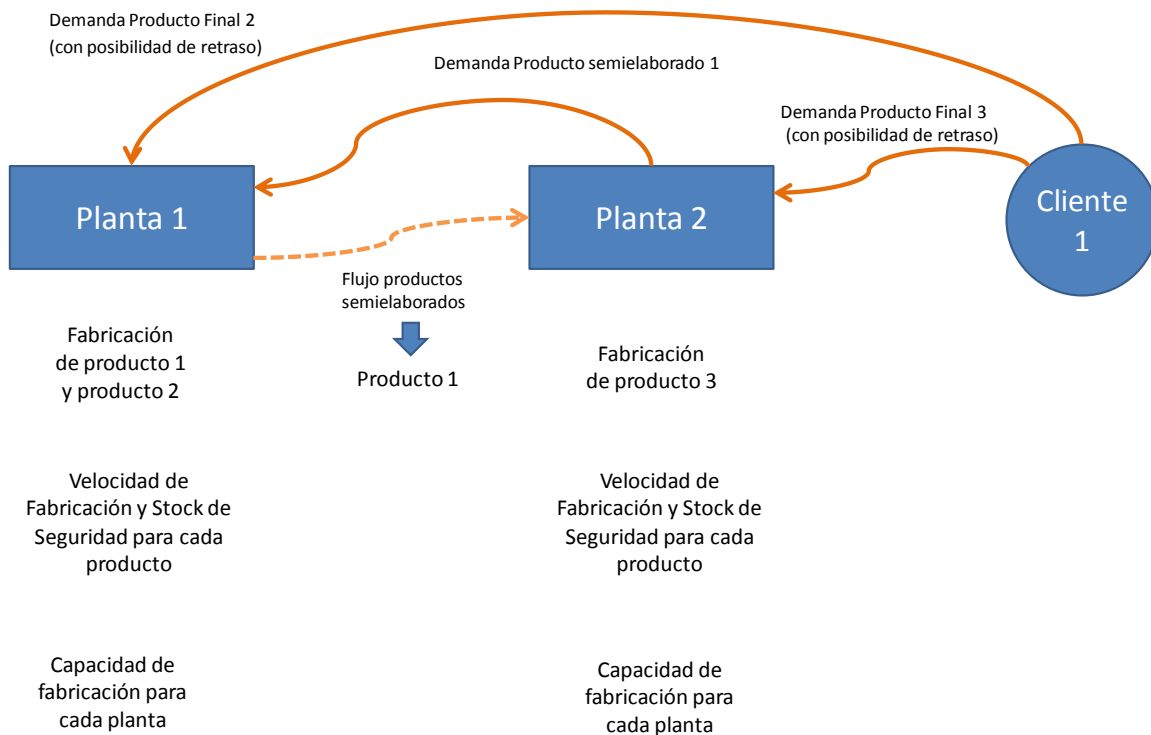
Considerando el rendimiento del sistema productivo del proveedor y su posible efecto sobre sus clientes, este trabajo tiene por objetivo evaluar diferentes configuraciones productivas de un proveedor en una CS mediante la simulación basada en la dinámica de sistemas. La estructura que presenta este trabajo se inicia con la descripción de la CS adoptada como base

de este trabajo y utilizada originalmente por McDonald y Karimi (1997). En la sección 3, se identifican los objetivos principales de la simulación a realizar. Posteriormente, en la sección 4 se describen los diagramas causales y de flujo empleados para construir el modelo de simulación. En la sección 5, se presentan los resultados de las diferentes simulaciones, a partir de los cuales se selecciona una configuración para la mejora del funcionamiento de la CS. Por último se presentan las conclusiones y posibles líneas futuras de trabajo.

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

El presente trabajo toma como punto de partida la CS presentada por McDonald y Karimi (1997), en concreto en el primero de los dos ejemplos propuestos. Se trata de una CS compuesta por dos plantas productivas, con un único centro de trabajo, en los que se fabrican un total de 34 productos a lo largo de 12 periodos de tiempo. En la primera de las plantas se fabrican 23 de los 34 productos, organizados en un total de 11 familias. La segunda de las plantas elabora 11 productos dependientes del primer producto de cada familia fabricado en la primera de las plantas productivas. Cada uno de los productos tiene atributos propios como la velocidad de fabricación, la demanda, el stock de seguridad objetivo y la lista de materiales para los productos terminados. Cada planta productiva se caracteriza por disponer de una capacidad de fabricación expresada en el tiempo disponible. Asimismo, se dispone para cada producto de los costes de almacenamiento, los costes variables de producción, los costes de escasez y los costes de transporte. Los productos fabricados en la planta primera pueden considerarse tanto productos terminados como productos semielaborados.

La CS descrita anteriormente se ha simplificado con la finalidad de poder reducir la complejidad del problema y adaptarlo a las características del problema simulado. Para ello, se mantiene la disposición de dos plantas productivas con un centro de trabajo cada una. En la primera de las plantas de fabricación se produce el producto 1 y el producto 2. El primero de ellos se corresponde con un producto semielaborado, utilizado como componente para la fabricación del producto 3, el cual se produce en la planta 2. A diferencia del modelo original de McDonald y Karimi (1997), en el que los productos semielaborados podían ser considerados como productos terminados, el producto 1 únicamente es demandado por la planta 2, de forma que no puede ser vendido al cliente 1. Al igual que en el caso anterior, cada planta productiva se caracteriza por disponer de una capacidad de fabricación expresada en el tiempo disponible a lo largo de 12 periodos de tiempo. Asimismo, se dispone para cada producto de los costes de almacenamiento, los costes variables de producción, los costes de escasez y los costes de transporte al cliente y entre plantas. La CS considerada se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** CS considerada

### 3. Objetivos de la simulación

Este trabajo tiene por objetivo la simulación de la CS propuesta con la finalidad de obtener un método para la evaluación o selección de proveedores a nivel táctico. En los ejemplos estudiados, se supone que la planta 2 evalúa diferentes configuraciones, asociadas a posibles perfiles de proveedores, entre los que seleccionará el más idóneo para sus intereses. Así pues, se evalúa la prioridad que la planta 1 otorga a la producción de productos semielaborados o a la producción de productos terminados y su impacto sobre la planta 2. De esta forma, se sugiere un mecanismo para la evaluación de proveedores en función de su capacidad de satisfacer la demanda de un cliente de carácter industrial, y su priorización respecto a la satisfacción de la demanda de clientes finales (cliente 1). Se generan 5 escenarios con diferentes grados de prioridad para cada producto (Tabla 1).

**Tabla 6.** Escenarios asociados a las prioridades otorgadas a la fabricación en la Planta 1

|                    | Producto 1 | Producto 2 |
|--------------------|------------|------------|
| <b>Escenario 1</b> | 100%       | 0%         |
| <b>Escenario 2</b> | 75%        | 25%        |
| <b>Escenario 3</b> | 50%        | 50%        |
| <b>Escenario 4</b> | 25%        | 75%        |
| <b>Escenario 5</b> | 0%         | 100%       |

### 4. Modelo de simulación

El modelo de simulación utilizado se construye mediante la aplicación de la dinámica de sistemas (Forrester 1958). Así pues, la elaboración del modelo de simulación se basa en la realización de los diagramas causa-efecto, que reflejan las relaciones entre cada una de las

variables que forman el sistema, para posteriormente, convertirlos en diagramas de flujo y poder realizar su simulación utilizando un software para dicho propósito.

#### 4.1 Diagrama causal

Para la elaboración del diagrama causal se toman como referencia las variables definidas por Campuzano et al. (2008) para su modelo de CS tradicional: (1) demanda del cliente de productos terminados y la demanda de producto semielaborado en la planta 1; (2) pedidos en firme; (3) pedidos pendientes en planta 1 y planta 2 para los productos 2 y 3, respectivamente; (4) inventario disponible en el almacén de cada centro de fabricación; (5) órdenes de fabricación; (6) capacidad de fabricación por planta; (7) velocidad de fabricación por producto; (8) fabricación en cada planta para cada producto; (9) nivel de servicio; y (10) costes de almacenamiento, costes de fabricación, costes de transporte, costes de *stockout* y costes por estar por debajo del stock de seguridad. A partir de la relación de estas variables, y según el funcionamiento de la CS considerada se obtiene al diagrama causal mostrado en la Figura 2.

#### 4.2 Diagrama de flujos

Los diagramas causa-efecto obtenidos en el apartado anterior se reformulan para obtener los diagramas de flujo o diagramas Forrester. En este trabajo se hace uso del programa Vensim© de simulación.

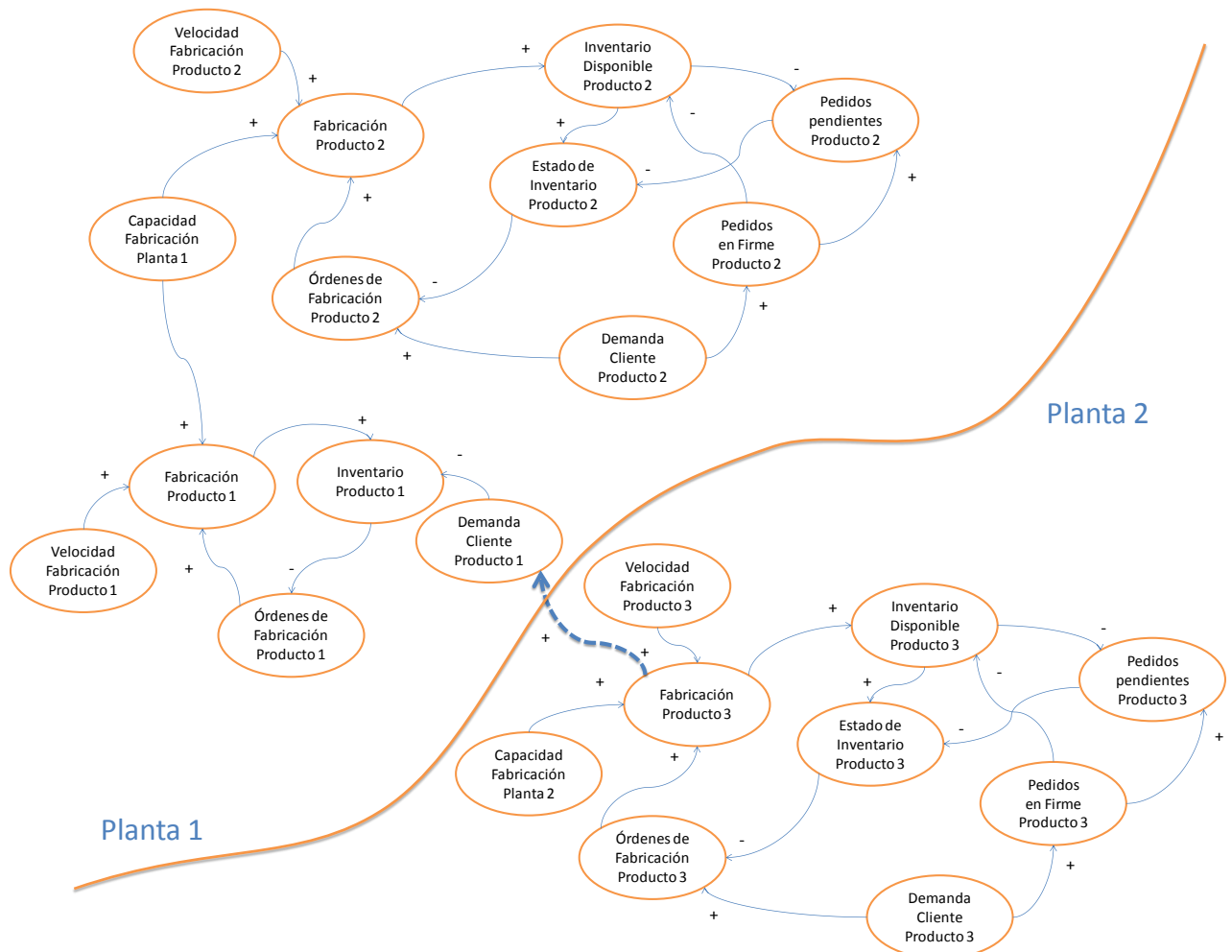
Las variables consideradas para la fabricación de los productos terminados son las siguientes:

1. *Demanda del cliente de productos terminados*, variables auxiliares que condicionarán el flujo de salida de los productos terminados desde el almacén (*Inventario disponible*).
2. *Pedidos en firme*, variables auxiliares que suministran información sobre la demanda de productos entre los diferentes niveles de la cadena y los pedidos pendientes que resten por satisfacer.
3. *Pedidos pendientes*, variable de nivel que “almacena” los pedidos en firme que no se han servido. Estos pedidos serán satisfechos cuando el almacén disponga de los productos terminados suficientes para ello (*Inventario disponible*).
4. *Inventario disponible*, variable de nivel que refleja el total de los productos terminados que llegan a cada elemento de la CS y están disponibles para ser entregados a posibles clientes. Estará modificado por las variables de flujo salida de productos terminados y por la llegada o flujo de productos al almacén desde la fabricación.
5. *Salida* o envío de productos, variable de flujo de materiales que modifica el estado del almacén de productos (*Inventario disponible*).
6. *Estado de Inventario*, variable auxiliar vital para la política de inventarios que se utilice para gestionar la demanda. Dependerá de las variables *Pedidos Pendientes* e *Inventario disponible*. Las órdenes de fabricación utilizadas en el presente trabajo incluirán el valor de la variable *Estado de inventario*.
7. *Órdenes de fabricación*, variables auxiliares que envían información sobre los productos que necesita cada planta para satisfacer la demanda y los posibles pedidos pendientes que tenga.
8. *Capacidad de fabricación*, variable auxiliar que define el tiempo disponible para fabricar por planta.

9. *Velocidad de fabricación*, variable auxiliar que define el tiempo requerido de fabricación por producto.
10. *Fabricación*, variable de flujo que modifica el *Inventario disponible* ya que supone la entrada de productos al almacén.
11. *Nivel de servicio*, variable de nivel que ofrece una medida del porcentaje de pedidos satisfechos respecto del total de pedidos realizados por el cliente final.
12. *Costes de almacenamiento, costes de fabricación, costes de transporte, costes de stockout y costes por estar por debajo del stock de seguridad*, variable de nivel que proporciona los costes totales de la CS al final del período de simulación. Esta variable de nivel no está relacionada con ninguna variable de flujo de salida (Campuzano et al. 2008).

En el caso de la fabricación del producto semielaborado, el diagrama queda simplificado al no considerar la posibilidad de pedidos pendientes, mientras que el resto de las variables son idénticas a las indicadas para el caso de los productos terminados. En este caso, la capacidad de fabricación de la planta 1 estará compartida entre la fabricación del producto 1 y el producto 2. Por otra parte, la demanda recibida del producto 1 coincide con las órdenes de fabricación del producto 3, siendo una relación 1 a 1, según la lista de materiales considerada.

El diagrama de flujo completo se detalla en el apartado de Anexos. En él pueden diferenciarse en la parte superior, la parte correspondiente a la fabricación del producto final 2 y en la parte central la correspondiente al producto semielaborado 1, mientras que en la parte inferior se sitúa la parte del diagrama correspondiente a la fabricación del producto 3.



**Figura 2.** Diagrama causal para la CS propuesta

## 5. Resultados de la simulación

Una vez definidas las diferentes políticas de priorización de la fabricación de productos y concretados los posibles escenarios, se crean los modelos de simulación correspondientes a cada uno de éstos. Se generan sucesivas simulaciones sin modificar el resto del modelo (costes, capacidades, velocidades de producción) con la finalidad de poder realizar una comparación más adecuada. Los criterios para la comparación se basan en los niveles de servicio asociados a cada producto y en los costes totales por planta. Una vez realizada la simulación para cada uno de los escenarios, los resultados obtenidos respecto al nivel de servicio asociado a cada producto se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 7.** Niveles de servicio por producto asociados a cada escenario

|                                     | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 4 | Escenario 5 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Nivel de servicio Producto 1</b> | 100.00%     | 100.00%     | 100.00%     | 94.79%      | 36.45%      |
| <b>Nivel de servicio Producto 2</b> | 2.22%       | 13.71%      | 39.96%      | 96.63%      | 79.01%      |
| <b>Nivel de servicio Producto 3</b> | 91.52%      | 86.40%      | 86.40%      | 86.88%      | 32.93%      |

Asimismo los costes para cada planta asociados a cada uno de los escenarios se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 8.** Costes totales por escenario

|                       |                       | Escenario 1    | Escenario 2    | Escenario 3    | Escenario 4    | Escenario 5    |
|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Producto 1            | Coste Fabricación     | 281.6          | 316.8          | 281.6          | 316.8          | 0.00           |
|                       | Coste Almacenamiento  | 17.49          | 15.83          | 9.16           | 7.71           | 4.16           |
|                       | Coste Stock Seguridad | 0              | 0              | 0              | 900            | 1800           |
| Producto 2            | Coste Fabricación     | 0              | 387.2          | 704            | 1056           | 704            |
|                       | Coste Almacenamiento  | 0.33           | 8.66           | 12.45          | 28.82          | 6.83           |
|                       | Coste Stock Seguridad | 1584           | 144            | 360            | 312            | 648            |
|                       | Coste Retraso         | 484            | 484            | 396            | 88             | 176            |
| Producto 3            | Coste Fabricación     | 500            | 555.56         | 555.56         | 500            | 200            |
|                       | Coste Almacenamiento  | 9.61           | 7.47           | 7.47           | 4.43           | 2.33           |
|                       | Coste Stock Seguridad | 336            | 376.44         | 376.44         | 504            | 756            |
|                       | Coste Retraso         | 150            | 150            | 150            | 250            | 400            |
| <b>TOTAL Planta 1</b> |                       | 2367.42        | 1356.49        | 1763.21        | 2709.33        | 3338.99        |
| <b>TOTAL Planta 2</b> |                       | 995.61         | 1089.47        | 1089.47        | 1258.43        | 1358.33        |
| <b>TOTAL</b>          |                       | <b>3363.03</b> | <b>2445.96</b> | <b>2852.68</b> | <b>3967.76</b> | <b>4697.32</b> |

Desde el punto de vista de la reducción de costes y la mejora del nivel de servicio en la planta 2, se escogería el escenario 1, puesto que asegura el mejor nivel de servicio para su producto 3, a la vez que presenta la menor cuantía de los costes totales. Sin embargo, esto supone la dedicación total del proveedor para el suministro del producto semielaborado 1, lo que supone un nivel de servicio excesivamente bajo, con la consiguiente pérdida de imagen y ventas futuras respecto del cliente final. Este escenario, podría ser considerado siempre que el poder de negociación y el volumen de negocio aportado por la planta 2 a la planta 1 fueran mucho mayores que el aportado por el cliente final para la compra del producto 2. El escenario 5, totalmente opuesto al anterior, centra exclusivamente la capacidad productiva de la planta 1 sobre la atención a sus clientes finales, de forma que el nivel de servicio relativo al producto 3 decae hasta un 32%, lo cual tampoco sería aceptable para la imagen comercial de la planta 2, además de ser la solución más costosa.

Los tres escenarios restantes presentan un nivel de servicio para el producto 3 de orden similar, siendo los costes asociados para el escenario 2 y 3 idénticos en la planta 2. En principio, estos escenarios son descartados pues el nivel de servicio es inferior al obtenido en el escenario 1, y dado que, el nivel de servicio asociado al producto final 2 sigue siendo bajo, se optaría por el escenario 1, puesto que sería necesario también en este caso un poder de negociación alto.

El escenario 4 presenta a priori resultados superiores, pues a pesar de presentar un nivel de coste algo superior para la planta 2 y considerablemente mayor para la planta 1, logra obtener unos niveles de servicio bastante altos para la planta 1 y de igual orden que en los casos anterior para la planta 2. Atendiendo a la configuración de la CS propuesta y a la anterior estructura de costes, se puede considerar la posibilidad de incrementar la capacidad productiva para mejorar el nivel de servicio global y lograr la reducción de las penalizaciones asociadas al inventario de seguridad y a los costes por retraso de demanda.

En el caso de incrementar la capacidad productiva en ambas plantas un 25% se obtienen los valores de nivel de servicio y costes asociados presentados en la Tabla 4.

**Tabla 9.** Costes totales y nivel de servicio del Escenario 4 mejorado

|                       |                      | Escenario 4    | Nivel de servicio |
|-----------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| Producto 1            | Coste Fabricación    | 220            | 93.75%            |
|                       | Coste Almacenamiento | 9.58           |                   |
|                       | Coste SS             | 225            |                   |
| Producto 2            | Coste Fabricación    | 792            | 90.60%            |
|                       | Coste Almacenamiento | 24.33          |                   |
|                       | Coste SS             | 288            |                   |
|                       | Coste Retraso        | 88             |                   |
| Producto 3            | Coste Fabricación    | 520.83         | 90.98%            |
|                       | Coste Almacenamiento | 4.43           |                   |
|                       | Coste SS             | 416.5          |                   |
|                       | Coste Retraso        | 150            |                   |
| <b>TOTAL Planta 1</b> |                      | 1646.91        |                   |
| <b>TOTAL Planta 2</b> |                      | 1091.76        |                   |
| <b>TOTAL</b>          |                      | <b>2738.67</b> |                   |

Por lo tanto, en caso de que se optara por establecer una relación de confianza con el proveedor, no basada en la presión de costes sino en el beneficio común de la CS, la el Escenario 4 modificado podría ser una configuración adecuada, dado que se consigue reducir los costes para la planta 1 y mantener el mismo orden de costes para la planta 2. Asimismo, los niveles de servicio son superiores al 90% para los tres productos.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se propone un modelo de simulación para la evaluación de proveedores simulando distintos escenarios en una CS ejemplo considerada originalmente en McDonald y Karimi (1997). En este modelo, cada uno de los escenarios de simulación se corresponden con las diferentes prioridades asociadas a la fabricación de un producto final y un producto semielaborado en una planta de fabricación con capacidad limitada, que es la que se ha evaluado, y que actúa como proveedor de otro centro de fabricación. Se establecen como criterios para la selección los niveles de servicio para cada producto y los costes totales asociados a cada centro de fabricación, permitiendo llegar a obtener una solución ventajosa para ambos miembros de la CS, tras el ajuste de los parámetros de capacidad de fabricación.

Como líneas futuras de investigación se propone: (1) el desarrollo de un modelo híbrido de simulación y optimización; (2) la ampliación de la CS considerada, y del número de productos terminados y semielaborados; (3) la reformulación a un modelo de simulación por eventos discretos y la comparación de los resultados obtenidos; (4) la incorporación de elementos de transporte entre plantas, o al cliente final, así como los tiempos de suministro, las familias de productos o los tiempos de fabricación; y (5) la comparación con algún modelo de selección o evaluación de proveedores alternativo.



## 7. Anexos

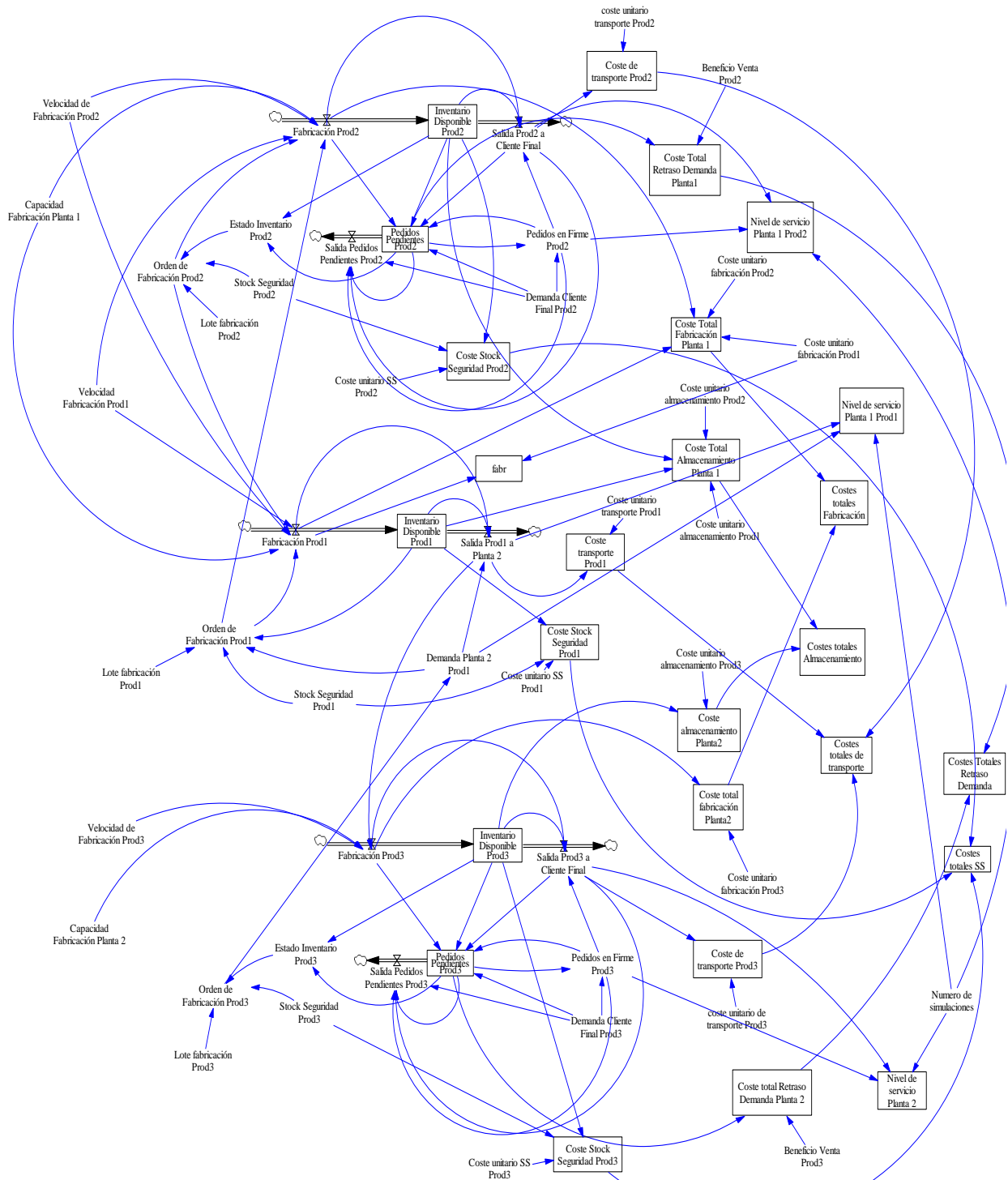


Figura 3. Diagrama de Flujo para la CS propuesta

### Agradecimientos

Este trabajo está financiado parte por el Proyecto Nacional del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) del Gobierno Español titulado: Modelos de optimización fuzzy y computación evolutiva y de simulación de los procesos de planificación de la producción y del transporte en una cadena de suministro. Propuesta de planificación colaborativa soportada por sistemas multi-agente. Integración en un sistema de decisión. Aplicaciones (Ref. DPI2007-65501)

Asimismo, esta investigación también ha sido financiada mediante una beca doctoral concedida por el Ministerio de Educación del Gobierno de España al primer autor (AP2008-01968). [www.cigip.upv.es/evolution](http://www.cigip.upv.es/evolution).

## **Referencias**

Araz, C. y Ozkarahan, I., 2007. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. *International Journal of Production Economics*, 106(2), 585-606.

Barbarosoglu, G. y Yazgac, T., 1997. An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem. *Production and Inventory Management Journal*, 38(1), 14-21.

Campuzano, F., Lario, F.C. y Ros, L., 2008. Consecuencias del efecto Bullwhip según distintas estrategias de gestión de la cadena de suministro: modelado y simulación. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 5, 49-66.

Dickson, G., 1966. An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2, 5-17.

Ding, H., Benyoucef, L. y Xie, X., 2005. A simulation optimization methodology for supplier selection problem. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18(2), 210.

Forrester, J.W., 1958. Industrial Dynamics. *Harvard Business Review*, 36(4), 37-66.

McDonald, C.M. y Karimi, I.A., 1997. Planning and Scheduling of Parallel Semicontinuous Processes. 1. Production Planning. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 36(7), 2691-2700.

Stadtler, H., 2002. *Supply chain management and advanced planning - Concepts, models, software and case studies*, Berlin: Springer.

Weber, C.A., Current, J.R. y Benton, W.C., 1991. Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2-18.