

## “Variabilidad de la Demanda y sus efectos según distintas políticas de Gestión de la Cadena de Suministro. Modelado y Simulación”

Francisco Campuzano Bolarín<sup>1</sup>, Francisco Cruz Lario Esteban<sup>2</sup>, Lorenzo Ros McDonnell<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Economía de la Empresa. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Muralla del Mar s/n, 30201. Cartagena. [Francisco.campuzano@upct.es](mailto:Francisco.campuzano@upct.es), [Lorenzo.ros@upct.es](mailto:Lorenzo.ros@upct.es)

<sup>2</sup> Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. [fclario@omp.upv.es](mailto:fclario@omp.upv.es)

### Resumen

El efecto Bullwhip es uno de los principales causantes de las inestabilidades en el proceso de Gestión de Demanda que se producen a lo largo de la Cadena de Suministro. Se presenta un modelo dinámico en el que se introducen variables que permiten, tanto modelar y simular dicho proceso como modificarlo, a fin de mejorar el rendimiento de la Cadena modelada.

**Palabras clave:** Efecto Bullwhip, Dinámica de Sistemas, Diagrama de Forrester

### 1. Introducción

En una Cadena de Suministro (**CdS**) los Fabricantes, intermediarios comerciales, transportistas, proveedores y organismos oficiales se integran de forma colaborativa para entregar la mercancía de forma rápida y eficaz de modo que el dinero fluya a través de la economía. Una Cadena de Suministro optimizada, supone mejoras de eficiencia que pueden reducir las necesidades de inventario, ahorrar costes de transporte y otros gastos de distribución, acelerar el flujo de caja y reforzar el área de cobros.

Sin embargo, alcanzar el funcionamiento eficiente de una CdS requiere superar problemas aún latentes, problemas que necesitan ser analizados a fin de encontrar soluciones idóneas.

Forrester (1958) analizando una CdS, sus distintos niveles existentes, las empresas participantes y el papel de cada una de ellas en el conjunto global de la citada cadena, observó que un pequeño cambio en el patrón de demanda de un cliente se magnificaba, según fluía, a través de los procesos de distribución, producción y aprovisionamiento. En cada nivel esta desviación se amplificaba. Este efecto es conocido como **Efecto Forrester** y es uno de los indicadores de una gestión ineficaz de la CdS. Esa amplificación se debía, según el autor citado, a los problemas derivados de la existencia de Tiempos de Suministro (“non zero lead times”) y la inexactitud de las Previsiones realizadas por los diferentes miembros de la cadena ante la variabilidad de la demanda. Más tarde Lee et al (1997) identifican que la distorsión de la demanda con respecto a las ventas, debida al efecto Forrester, se amplifica aún más debido a efectos que pueden darse de forma simultánea en la CdS: la **lotificación de pedidos**, la **fluctuación de los precios** de los productos y al **racionamiento y escasez de productos terminados**. Se denomina **efecto Bullwhip** a la amplificación en la variabilidad de la demanda de productos que, debida al efecto Forrester, produce la combinación de estos 4

elementos; esta amplificación va aumentando según se separa del consumidor final y se avanza en la Cadena de Suministro (aguas arriba de la CdS).

La comunicación entre cada una de las partes de la CdS se aprovecha de forma diferente según la estructura de la cadena. Como demuestra Sterman (1989) en su famoso “Beer Game”, la información se deteriora según se transmite entre los diferentes escalones de la cadena. Considerando este aspecto, fundamental en lo que se refiere a la calidad de la información, existen diversas estrategias de gestión de la CdS (Disney et al., 2004), algunas de ellas basadas en el uso de las TIC, que se utilizan para intentar paliar el uso de información con baja calidad. En particular, Disney et al (2004) citan las estrategias **EPOS** (Electronic Point of Sales), **VMI** (Vendor Management Inventory), **Reducida** y **E-shopping**.

La amplificación que la demanda original del cliente final sufre al ir atravesando cada uno de los niveles que componen la CdS, es un problema que no sólo se ha tratado de paliar utilizando las tecnologías de la información y las comunicaciones entre los miembros de la misma.

Entre las publicaciones que tratan el efecto Bullwhip, encontramos los siguientes temas referidos a su análisis:

- Las dedicadas a la reducción del mismo, que proponen un alisamiento de las órdenes de reabastecimiento o nuevas estructuras colaborativas de intercambio de información entre los miembros de la cadena. Disney y Towill (2003 a y b), Disney et al (2004), Dejonckheere et al (2004).
- Las que enfocan su investigación en la incidencia de una serie de factores sobre el efecto Bullwhip. Entre estos factores se encuentran los Tiempos de Suministro variables, inexactitud en las previsiones y la falta de información entre los integrantes de la cadena. Chen et al (2000), Chatfield et al(2004), Hosoda y Disney(2005).

Algunos autores ofrecen modelos analíticos de resultados satisfactorios, aunque la estructura del modelo desarrollado presenta dificultades metodológicas en su aplicación y un reducido campo de aplicación por la rigidez de las condiciones impuestas, como la de centrarse en un solo parámetro (Swaminathan y Tayur, 2003)

Esta comunicación, utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas (DS), Forrester (1958), se plantean los siguientes **objetivos**:

- Desarrollo de una **plataforma o herramienta** que permite, con el soporte de la metodología de la Dinámica de Sistemas, estudiar el proceso Gestión de Demanda a lo largo de la una CdS con independencia de su número de niveles.
- La plataforma incorporará las **variables necesarias, definidas**, para modelar dicho proceso de gestión de demanda (niveles de inventario, órdenes de reabastecimiento, fabricación, previsiones, etc). A diferencia de otros modelos en la herramienta / plataforma *se consideran las restricciones de capacidad, gestión de pedidos pendientes, niveles de servicio, medida del efecto bullwhip y costes de inventario* asociados a cada nivel que se modele
- La **facilidad de utilización de la herramienta** para recrear diferentes tipos de estrategias de gestión de CdS con la finalidad de medir el impacto de éstas en el proceso de Gestión de Demanda.

En concreto, **solo se presentan los modelos para las Cadenas Tradicional y Reducida**, esta última caracterizada por la eliminación de determinados niveles con respecto a los que normalmente forman la CdS Tradicional. A fin de analizar el efecto de esta reducción sobre la variabilidad de la Demanda, a lo largo de la cadena, se comparan los resultados obtenidos tras la simulación de ambos modelos.

## **2. Construcción Del Modelo Propuesto**

Los pasos a seguir en la creación del modelo propuesto, según la metodología de la DS sigue dos pautas, la *creación del diagrama causal (DC)* y la segunda, que será imprescindible para realizar la simulación, será la *creación del diagrama de flujos (DF)*.

### **2.1 Construcción Del Modelo Causal de un Sistema**

El conjunto de los elementos relacionados con nuestro problema y que, en principio, permiten explicar el comportamiento observado junto con las relaciones entre ellos, en muchos casos de retroalimentación (cadena cerrada de relaciones causales), forman el *Sistema a modelar*. El DC es el diagrama que recoge los elementos clave del Sistema y sus relaciones.

Conocidas globalmente las variables del sistema y sus hipotéticas relaciones causales existentes, se pasa a la *representación gráfica* de las mismas. En este diagrama, las diferentes relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas por ellas.

### **2.2 Estructura Del Modelo Causal Propuesto Para Una Cadena de Suministro Tradicional**

El modelo base creado, se realizará a partir de una **CdS Tradicional de estructura lineal**, formada por los niveles Cliente Final, Minorista, Mayorista y Fabricante. Los pasos seguidos, en la creación del DC para el caso concreto de la CdS Tradicional se basan en las propuestas de Aracil (1997) y Sterman(2000), y son los siguientes:

#### ***1) Se realiza una descripción del problema que se desea estudiar.***

En este caso, el *análisis de las causas de la variabilidad de la demanda* a lo largo de la Cadena de Suministro multinivel. El funcionamiento de Cadena de Suministro se estudiará teniendo en cuenta la gestión de la demanda que realiza cada uno de sus niveles. El efecto de la variabilidad de la demanda se observará en los *niveles de servicio, costes de inventario* (pedido, almacén) y costes por pedidos aplazados.

#### ***2) Se sitúan los elementos que tienen influencia con el problema que se quiere estudiar.***

Se ha utilizado como *modelo de referencia APIOBPCS* (Automatic Pipeline, Inventory and Order-Based Production Control System) (Jhon et al, 1994. Además, según Berry (1994), el modelo APIOBPCS representa adecuadamente el proceso industrial de gestión de demanda, presenta interesantes características dinámicas, y sus fases de funcionamiento son bastante transparentes. Los estudios realizados sobre el efecto Bullwhip utilizando este modelo, son los más cercanos a la investigación que se propone, aunque *para acercar el modelo a la realidad se han agregado* dos elementos a lo que propone el modelo APIOBPCS, las *restricciones de capacidad* y el *proceso de gestión de pedidos pendientes*.

Los elementos en el DC de la CdS elegida, y en base al modelo APIOBPCS, son:

a) *Demanda del cliente final y demanda entre un nivel y el situado inmediatamente aguas arriba*

b) *Los pedidos en firme (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante).* Los pedidos en firme constarán de la demanda enviada por el nivel inmediatamente aguas abajo del que se esté considerando y los pedidos pendientes del miembro de la CdS que se trate.

Es decir si el subíndice “ i “ se corresponde con el nivel de la CdS que se esté tratando,  $D_{i-1}$  a la demanda del nivel inmediato aguas abajo, y  $P_{pi}$  a los pedidos pendientes del nivel que se esté considerando, los pedidos en firme serán:

$$\text{Pedidos en firme}_i = D_{i-1} + P_{pi}$$

c) *Los pedidos pendientes (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante)*

d) *El Inventario Disponible (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante):*

Este inventario es el que puede encontrarse dentro del almacén y la cantidad disponible del mismo nunca puede ser negativa. Esta cantidad es relevante, ya que permite determinar si la demanda de un determinado cliente puede ser satisfecha directamente desde el almacén.

e) *La Previsión de Demanda (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante).*

Las previsiones se han realizado mediante *lisaje exponencial simple*.

f) *El estado de Inventario (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante):*

El estado de Inventario se define por la siguiente relación:

Estado inventario = Inventario disponible + Inventario pendiente de recibir (o productos en curso) - Pedidos pendientes. (Silver et al , 1998)

g) *Las ordenes de reabastecimiento (tanto para Minorista como Mayorista)*

h) *Las ordenes a fábrica (nivel de Fabricante)*

Tanto las órdenes de reabastecimiento como las órdenes a fábrica se confeccionarán según la política de inventario que se elija para gestionar la demanda. Independientemente de la política que se siga, para el lanzamiento de las mismas se tendrán en cuenta las variables *Previsión de Demanda, Estado de inventario, y Tiempos de Suministro* o fabricación.

La política de Control de Inventario utilizada en este trabajo es la **Order up to level S** (Silver et al 1998). Esta política se basa en mantener el estado de Inventario dentro de un nivel S. Las órdenes de reabastecimiento o fabricación se enviarán siempre que el estado Inventario caiga por debajo del nivel S. Se puede hacer S igual a la Previsión de Demanda durante el tiempo de suministro más la *desviación típica de la demanda* durante el tiempo de suministro multiplicada por un factor de servicio **K** (Silver et al 1998). Así la orden de reabastecimiento será (1):

$$O_t = \overset{\wedge}{D}_t + k \cdot \overset{\wedge}{\sigma}_t - \text{Estado de inventario}_t \quad (1)$$

i) *El tiempo de suministro (Mayorista y Fabricante)*

j) *Los productos en curso (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante):*

Lo constituyen, por una parte el Inventario que servido y que no estará disponible hasta que se cumpla el tiempo de suministro estipulado, y por otra el Inventario que estará disponible en el almacén tras completarse el proceso de fabricación.

k) *La capacidad de fabricación (nivel del Fabricante):*

Se expresará como el número de unidades que pueden realizarse durante un periodo.

l) *Fabricación (nivel del Fabricante).*

m) *Tiempo de fabricación (nivel de Fabricante).*

n) *Niveles de Servicio (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante).*

El Nivel de Servicio se definirá como *el cociente entre número de unidades expedidas a los clientes sin retraso y el número total de unidades demandadas por los mismos.*

o) *Costes de Inventario (almacenamiento y pedido) (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante) y stockout (generados por no servir a tiempo un pedido).*

Estos elementos variarán en función del tipo de CdS que se esté modelando. En el caso de modelar la CdS Reducida, se construirá únicamente con los niveles del Mayorista y el Fabricante, es decir se elimina el nivel del Minorista con respecto a la CdS tradicional.

3) *Se definirán y dibujarán, las relaciones o influencias que existen entre ellos y cuya representación se citó en el apartado anterior.*

### 3. Transformación del Diagrama Causal al Diagrama de Forrester

El diagrama de Forrester es la traducción del DC a una terminología que permite simular el comportamiento del sistema creado en un ordenador. El programa informático utilizado para realizar las simulaciones del modelo creado ha sido **Vensim®**

Lo anterior lleva a una clasificación (Aracil, 1997) de las distintas variables que aparecen en un *diagrama de influencias* en tres grupos: **variables de nivel o estado**, **variables de flujo** y **variables auxiliares**.

Las **variables de nivel** reflejan acumulaciones, son normalmente las más importantes y muestran en cada instante la situación del modelo. Asociada a cada variable de nivel se encuentran una o varias **variables de flujo**, que determinan su variación a lo largo del tiempo. Por último, las **variables auxiliares** son el resto de las variables que aparecen en el diagrama, y representan pasos intermedios para la determinación de las **variables de flujo** a partir de las variables de nivel.

### 4. Parámetros de Rendimiento Utilizados. Medida del Efecto Bullwhip

A fin de medir la eficacia de cada uno de los niveles de que consta la CdS simulada, se han modelado diferentes variables que permiten analizar el proceso de gestión de demanda desde el Minorista hasta el Fabricante. Estas variables ya se definieron en el Apdo.2 y se corresponden con los niveles de servicio alcanzados en cada nivel y con los costes producidos por almacenaje, pedidos y stockout.

Chen et al (2000 a y 2000b) proponen como ratio para medir la amplificación de las órdenes de reaprovisionamiento o fabricación (dependiendo del nivel de la CdS que se considere) con respecto a la demanda del cliente final, el siguiente (2):

$$Bullwhip = \frac{\sigma_o^2 / \mu_o}{\sigma_D^2 / \mu_D} = \frac{\sigma_o^2}{\sigma_D^2} \quad (2)$$

El ratio anterior relaciona la varianza de las órdenes de reabastecimiento o fabricación respecto de la media de éstas con la varianza de la demanda del cliente final respecto de la media de ésta.

## 5. Viabilidad del Modelo realizado. Experimentación.

El objeto de este apartado es demostrar la *validez del modelo desarrollado como herramienta* para simular el proceso de Gestión de Demanda en cada componentes de la CdS modelada.

### 5.1 Diseño Del Experimento

La CdS Tradicional construida para este trabajo consta, como ya se dijo en el Apdo. 2.2 de cliente final, Minorista, Mayorista y Fabricante. Según Forrester (1958), la falta de comunicación entre cada uno de los integrantes de la CdS, así como la existencia de Tiempos de Suministro, dará lugar a la aparición del efecto Bullwhip. La potencialidad de la herramienta creada *permite visualizar las interdependencias* que existen entre cada uno de los elementos de la CdS modelada, esto es, como repercuten, por ejemplo, los pedidos pendientes de un nivel en los adyacentes. Todo esto se ve reflejado en niveles de servicios y en los costes totales del nivel analizado. En este trabajo se ha simulado el proceso de Gestión de Demanda de las CdS Tradicional y Reducida, a fin de comprobar el efecto que produce la eliminación de un escalón tanto en el *efecto Bullwhip* como en *costes y niveles de servicio* asociados al proceso citado.

Se muestran algunos de los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas para el modelo creado. Los valores de los parámetros utilizados (elegidos al azar) son:

- El patrón de Demanda elegido se corresponde con una *distribución normal*. La simulación se realizó durante un *periodo de 365 días* (suficiente para que el modelo se estabilice).
- El nivel de Inventario inicial para cada nivel es de 100 unidades.
- La Capacidad del Fabricante es de 160 unidades diarias.
- El Tiempo de suministro del Mayorista al Minorista es de 3 días, el de suministro del Fabricante al Mayorista 2 días. Estos tiempos se suponen constantes para cada pedido recibido excepto en el caso de stockout.
- El Tiempo de fabricación es de 2 días.
- El factor Nivel de Servicio K para cada nivel se ha tomado 2.
- El factor de ajuste en las Previsiones es igual a 2  $\alpha=0.5$ .
- Para el cálculo de los costes producidos por almacenamiento, stockout o pedido (costes de inventario) se han definido los siguientes:
  - Coste por almacenamiento :0,5 euros unidad/periodo.
  - Coste stockout : 1 euro/ pedido no entregado a tiempo.
  - Costes pedido : 0,5 euros/pedido realizado.

### 5.2 Resultados De La Simulación Realizada

#### 5.2.1 El Efecto Bullwhip En Cada Nivel de la Cadena Tradicional

La variación de las órdenes de reabastecimiento o fabricación con respecto a la demanda real a lo largo de toda la CdS tradicional se visualizan en la Fig 1. En esta figura se observa la medida del efecto Bullwhip para cada nivel durante todo el periodo de simulación.

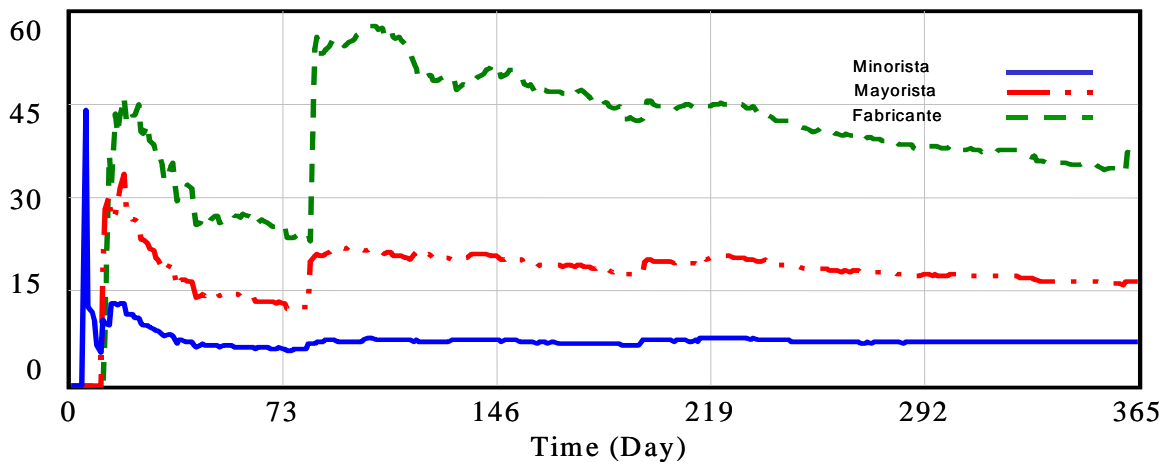


Figura 1: Medida del efecto Bullwhip para cada nivel de la cadena

La *variabilidad de las órdenes de reabastecimiento* aumenta según avanzamos aguas arriba de la CdS. Los problemas que acarrea este aumento de la variabilidad de la demanda derivan de la interdependencia existente entre los integrantes de la cadena. Así, el incremento de la variabilidad de las órdenes originará pedidos de tamaños muy dispares, lo que influirá en las Previsiones realizadas por cada uno de los integrantes de la CdS. Las órdenes de reabastecimiento con una alta variabilidad, darán lugar a Previsiones erróneas y los Inventarios de cada nivel no mantendrán en ocasiones un nivel adecuado para hacer frente a posibles picos de demanda. La variabilidad del nivel de Inventarios ocasionará tanto costes por stockout como un aumento de los costes de almacenamiento. La dependencia entre niveles acarrea que no todos acusen los mismos costes.

El Minorista es el mayor afectado en el caso simulado, ya que por un lado sufre los retrasos en fabricación originados en el nivel del Fabricante, quien acusa una capacidad insuficiente para atender la demanda desde el nivel del Mayorista, y por otro, los Tiempos de Suministro físicos que existen entre cada nivel afectan al nivel óptimo de su inventario. Este hecho se hace patente al observarse los costes por stockout que sufre cada nivel de la cadena modelada, ya que el Minorista tiene unos costes por stockout superiores a los del Mayorista y el Fabricante. Ver Figura 2 (Izquierda).

De la misma forma los costes de almacenamiento de los niveles del Mayorista y del Fabricante serán superiores a los obtenidos por el Minorista. Como anteriormente se vio, el efecto Bullwhip alcanza los mayores valores en el nivel del Fabricante, lo que repercutirá en unos mayores costes de almacenamiento, ya que éste recibe órdenes de reabastecimiento por parte del Mayorista magnificadas respecto de la demanda del cliente final a causa de los Tiempos de Suministro y de los errores en las previsiones de los niveles situados aguas abajo. Ver Figura 2 (derecha).

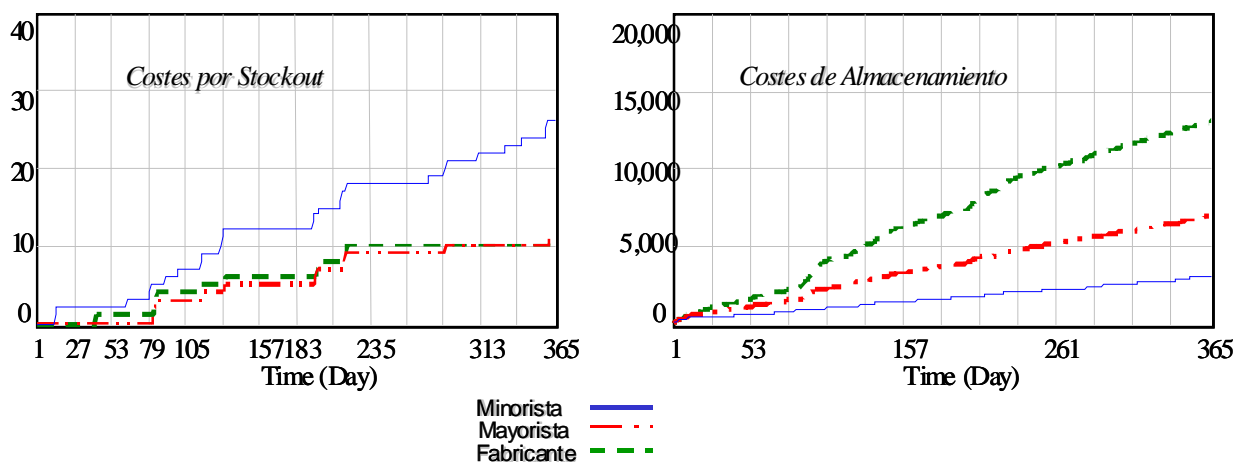


Figura 2: Costes por stockout y Almacenamiento para cada nivel de la cadena

Obsérvese en la Figura 2 que para la totalidad de los niveles, los costes de almacenamiento son los más importantes en el global de los costes totales, dado el escaso valor que se ha dado a los costes por stockout o pedido.

### 5.2.2 Análisis del Efecto Bullwhip en la Cadena de Suministro Reducida respecto a la Cadena de Suministro Tradicional

En la CdS Reducida se elimina el nivel del Minorista con respecto a la CdS Tradicional modelada. Al eliminarse el nivel del Minorista, tanto los Tiempos de Suministro como las Previsiones asociadas a este nivel desaparecen, lo que origina que el efecto Bullwhip se reduzca tanto en el nivel del Mayorista como en el Fabricante con respecto a los valores ofrecidos en estos niveles en la CdS Tradicional. Ver Figura 3

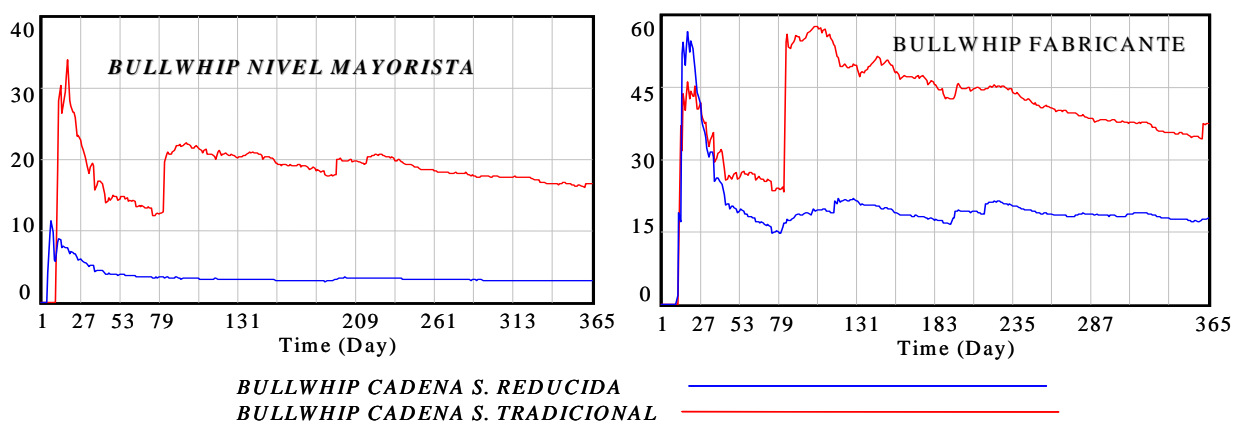


Figura 3: Medida del Efecto Bullwhip en las Cadenas de Suministro Tradicional y Reducida para los niveles del Mayorista y del Fabricante

Aunque el efecto Bullwhip se ha reducido, la CdS Tradicional muestra mejores niveles de servicio y Costes por Stockout que la CdS Reducida. La causa de esta alteración la origina el propio efecto Bullwhip, ya que la variabilidad que éste produce en las órdenes de reabastecimiento o fabricación da lugar en ciertos periodos a altos niveles de Inventario (y consecuentemente a altos costes de almacenamiento) que aumentan el Nivel de Servicio de



cada integrante de la CdS, ya que su Inventario es capaz de responder sin problemas a la demanda del miembro situado inmediatamente aguas abajo. Ver Figura 4

Para paliar este aumento de los costes de stockout, se podrían modificar una serie de parámetros que afectan al proceso de Gestión de Demanda, como son la política de Inventario, el nivel de los inventarios, el factor Nivel de Servicio, la capacidad del Fabricante o los Tiempos de Suministro.

Se ha procedido a aumentar el factor Nivel de Servicio en la CdS reducida hasta un valor igual a 3, observándose una disminución de los costes por Stockout con respecto a la CdS Tradicional sin que los costes de almacenamiento se disparen y superen a los ofrecidos por ésta última. Ver figura 5

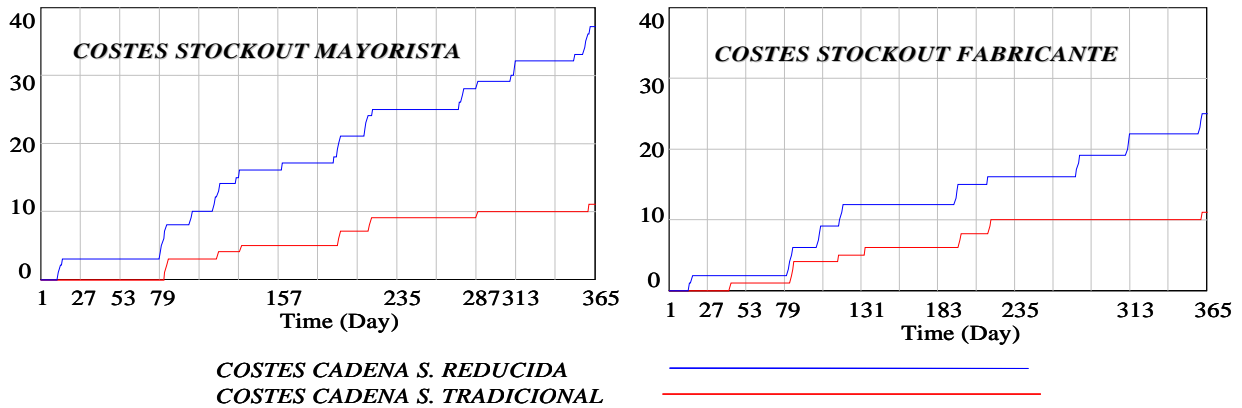


Figura 4: Costes de Stockout en las Cadenas de Suministro Tradicional y Reducida para los niveles del Mayorista y del Fabricante

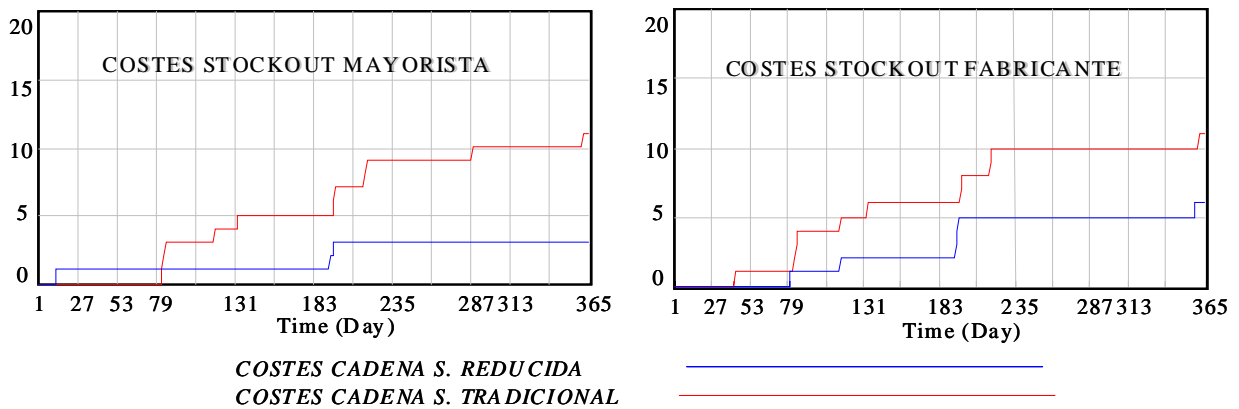


Figura 5: Costes de Stockout en las Cadenas de Suministro Tradicional y Reducida para los niveles del Mayorista y del Fabricante K=3 para la cadena Reducida.

## 6. Conclusiones

Se ha presentado *un modelo genérico de simulación* para sistemas de CdS. Las diferentes variables utilizadas para la construcción de la CdS Tradicional propuesta, pueden ser utilizadas para la *creación de variados tipos de nuevas estructuras de CdS*, como VMI (Vendor Managed Inventory), a fin de comprobar, entre otros aspectos, su funcionamiento en la Gestión de la variabilidad de la Demanda. De la misma forma, el modelo puede utilizarse para la *creación de CdS de estructura no lineal* en la que existan, por ejemplo, varios Fabricantes o Mayoristas. Modelos de este tipo pueden ser empleados para el proceso de Gestión de Proveedores. En consecuencia el modelo desarrollado, **puede ser útil para el**

## **nivel táctico de una organización, como ayuda para la toma de posibles decisiones Inter-organizacionales de Gestión de la Cadena de Suministro.**

Los resultados ofrecidos por las simulaciones realizadas en este trabajo **no pueden generalizarse a todos los casos** que se planteen. La utilidad del modelo es ofrecer la posibilidad de generar diferentes escenarios, gracias a la **modificación conjunta de diversos parámetros** (variables). El investigador podrá considerar el caso que mejor se adapte a los objetivos propuestos; entre otros ejemplos: intentar la disminución del efecto Bullwhip en un determinado nivel de la CdS utilizando en el mismo una orden de reabastecimiento diferente o basarse en técnicas de previsión más eficientes, o el efecto que produce en cuanto a costes de inventario y niveles de servicio la modificación de diversos parámetros propios (como puedan ser los Tiempos de Suministro o la capacidad de fabricación) de cada nivel de la CdS.

### **Referencias**

- Aracil , J. ,Gordillo, F. (1997) *Dinámica de Sistemas* . Alianza Universidad Textos. Madrid
- Berry , D. (1994) *The análisis , modelling and simulation of a re-engineered PC supply chain*. University of wales Cardiff. PhD Thesis
- Chatfield, D.C., Kim , J.G. Harrison T.P. Hayya, J.C. (2004) . *The Bullwhip effect-Impact of Stochastic Lead Time, Information Quality, and Information Sharing, A simulation Study*. Production and Operations Management. Vol 13,No.4 pp.340-353
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K., Simchi-Levi, D., (2000) .*Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain:The impact of forecasting, lead-times and information*. Management Science 46 (3), 436–443.
- Disney , S.M., Towill, D.R. (2003 a) *Vendor Managed Inventory and Bullwhip reduction in a Two level supply Chain* . International Journal of Operations & Production Management Vol 23 No 6 2003 pp 625-651
- Disney, S.M.; Towill D.R. (2003 b) *On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy* . The International Journal of Management Science. Pp 157-167
- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M.R., Towill, D.R., (2004). *The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains: A control engineering Perspective*. European Journal of Operational Research.
- Forrester, J. (1958): “*Industrial Dynamics, A Major Breakthrough for Decision Makers*”.Harvard Business Review, July-August, pp 67-96.
- Hosoda, T. and Disney S.M. (2005) . *On variance amplification in a three-echelon supply chain with minimum mean square error forecasting*. The international Journal of Management Science. Omega 34 (2006) pp 344-358
- John, S., Naim, M.M., Towill, D.R. (1994). *Dynamic analysis of a WIP compensated decision support system*. International Journal of Manufacturing Systems Design 1 (4),283–297.
- Lee, H.L., Padmanabhan, V., Whang, S. (1997). *The Bullwhip Effect in supply chains*. Sloan Management Review 38 (3),93–102.
- Silver , Edward A, Pyke, David F., Peterson, Rein (1998) *Inventory Management and Production Planning and Scheduling* . Wiley
- Sterman, J.D., (1989). *Modelling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment*.Management Science 35 (3), 321–339.
- Sterman, J.D. (2000) *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. NY: McGraw-Hill Higher Education
- Swaminathan, Jayashankar M.and Tayur, Sridhar R. (2003).*Models for Supply Chains in E-Business*.Management Science.Vol. 49, No. 10,