

Modelado y Simulación de Estructuras Colaborativas de Gestión de la Cadena de Suministro. Reducción del Efecto Bullwhip*

Francisco Campuzano Bolarín¹, Francisco Cruz Lario Esteban²,
Lorenzo Ros McDonnell¹

¹ Dpto. Economía de la Empresa. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Muralla del Mar s/n, 30201. Cartagena. Francisco.campuzano@upct.es, Lorenzo.ros@upct.es

² Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. 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. Presentamos un modelo dinámico que permite modelar diferentes tipos de estructuras de Cadenas de suministro, simular dicho proceso gestión y modificar los parámetros claves del mismo a fin de mejorar el rendimiento de la cadena modelada. Para esta comunicación se modelan y simulan las estructuras colaborativas Vendor Managed Inventory (VMI) y Electronic Point of Sales (EPOS) comparándose con respecto a la Tradicional utilizando para ello indicadores clave en la gestión de la cadena de suministro, como son la medida del efecto Bullwhip o los costes de inventario.

Palabras clave: Efecto Bullwhip, Dinámica de Sistemas, Diagrama de Forrester, EPOS, VMI

1. Introducción

La adecuada Gestión de la Cadena de Suministro se está convirtiendo en una de las claves de la competitividad de las empresas. Hoy la competencia ya no es solo entre empresas sino entre cadenas de suministro; las nuevas herramientas de gestión basadas en las TIC, potencian la integración de empresas en cadenas de suministro, consiguiendo Entidades únicas capaces responder con mayor eficacia.

Esta comunicación analiza, principalmente, *el problema de la variabilidad de la Demanda y la acumulación distorsionada de Inventarios a lo largo de la Cadena de Suministro, también llamado efecto Bullwhip (Lee et al, 1997), como consecuencia de la falta de sincronización/ disponibilidad de la Información entre los agentes que la forman.* Así, se presenta el modelado del proceso de Gestión de la Demanda, teniendo en cuenta las características de la Cadena de Suministro que se desee estudiar, lo que se traduce en unas condiciones que se implementan en el modelo. Los resultados obtenidos, para un caso particular, pueden ser aplicables a cualquier cadena del mismo ramo, o exigir pequeñas modificaciones en el modelo. El modelo permite *encontrar soluciones satisfactorias a la rentabilidad de sus operaciones desde el punto de vista de la gestión de inventarios, capacidad, y flujo de materiales.*

Alguna de las causas del efecto Bullwhip pueden atribuirse a la desconfianza entre los miembros de la Cadena de Suministro que genera una escasez de información dando lugar a la aparición de problemas de gestión como pueden ser los excesos de inventarios, demanda insatisfecha,

* Esta comunicación deriva del Trabajo galardonado por el Centro Español de Logística con el premio CEL-Universidad 2007

tiempos de suministro elevados etc. que repercuten negativamente en el objetivo principal de la cadena de suministro que es conseguir la máxima satisfacción del cliente final

Disney (Disney et al, 2004) comenta el interés que tendría para el análisis de la variabilidad de la Demanda (efecto Bullwhip), la utilización de nuevas estructuras de Cadena de Suministro, tales como EPOS (Electronic Point of Sales), VMI (Vendor Management Inventory) (ambas basadas en estrategias colaborativas entre los miembros que forman la Cadena de Suministro), Reducida y E-shopping.

Para esta Comunicación, se presentan sendos modelos de Gestión de Cadena de Suministro en los que se utilizan las estructuras colaborativas VMI y EPOS. Los resultados obtenidos tras la simulación de ambos modelos, se compararán con los conseguidos en anteriores publicaciones (Campuzano et al., 2006) para las Cadenas de Suministro Tradicional y Reducida, a fin de analizar el efecto del uso de estas estrategias colaborativas en la reducción del efecto Bullwhip.

2. Construcción Del Modelo Propuesto

Los pasos a seguir a la hora de crear el modelo propuesto utilizando la metodología de la Dinámica de sistemas sigue dos pautas, La primera es la creación del diagrama causal y la segunda, que será imprescindible para realizar la simulación, será la creación del diagrama de flujos.

2.1. Construcción Del Modelo Causal De Un Sistema

El conjunto de los elementos que tienen relación con nuestro problema y permiten en principio 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 Diagrama Causal es un diagrama que recoge los elementos clave del Sistema y las relaciones entre ellos.

Una vez conocidas globalmente las variables del sistema y las hipotéticas relaciones causales existentes entre ellas, 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 Cadena de Suministro Tradicional de estructura lineal*, formada por los niveles Cliente Final, Minorista, Mayorista y Fabricante. Los pasos seguidos, en la creación del diagrama causal para el caso concreto de la Cadena de Suministro Tradicional se basan en las propuestas de Sterman(2000), y son los siguientes:

2.2.1 Primero 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 entorno a la gestión de la demanda que realiza cada uno de los niveles de la misma. El efecto de la variabilidad de la demanda se observará en los niveles de servicio, costes de inventario (pedido, almacén) y costes por pedidos no servidos a tiempo.

2.2.2 En segundo lugar se situarán los elementos que tienen influencia con el problema que se quiere estudiar

Para la creación del modelo propuesto 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 las fases de su 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 las variables que propone el modelo APIOBPCS, esto es, restricciones de capacidad y el proceso de gestión de pedidos pendientes.

Los elementos considerados para llevar a cabo el diagrama causal de la Cadena de Suministro elegida, y en base al modelo APIOBPCS, son los siguientes:

- a. *La demanda del cliente final y demanda de un nivel hacia 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 cadena que se trate.

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

Pedidos en firme

$$i = D_{i-1} + P_{pi} \quad (1)$$

- 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).* La previsión se ha realizado utilizando 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 . Como ejemplo 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 (2):

$$O_i = \hat{D}_i + k \cdot \sigma_i - \text{Estado de inventario}_i \quad (2)$$

- i. *El tiempo de suministro (Mayorista y Fabricante)*
- j. *Los productos en curso (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante):* Lo constituyen por una parte *aquel* inventario que ha sido servido y que no llegará a estar 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).*

Lógicamente estos elementos variarán en función del tipo de Cadena de Suministro que se esté modelando. En el caso de las Cadenas de Suministro con estructuras colaborativas VMI y EPOS se añadirán nuevas variables que se exponen en los apartados 2.3 y 2.4.

2.2.1 En tercer lugar se definirán, concretamente se dibujarán, las relaciones o influencias que existen entre ellos utilizando el diagrama causa-efecto.

En este diagrama, las diferentes relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas por ellas.

2.3. Modelado de la Cadena de Suministro EPOS

La característica principal de las cadenas de suministro en las que se utiliza el sistema EPOS es que la información de las ventas al cliente final es enviada a cada uno de los miembros de la

Cadena de Suministro. Así cada miembro conocerá la demanda real de productos que el cliente final solicita en cada periodo. De todas maneras, los diferentes métodos en la realización de pronósticos, así como el aprovechar oportunidades para la compra de materias primas a precios bajos, pueden conducir a colocar extrañas ordenes que desvirtúen la información y conduzcan a producir el efecto Bullwhip.

La diferencia principal entre la estructura EPOS y la tradicional a la hora de modelarlas estriba en que en la primera la información de las ventas del minorista al consumidor final se envía a cada uno de los miembros de la cadena, lo que mejora las previsiones de demanda de éstos, ya que se eliminan periodos de falta de información que desvirtúan el correcto funcionamiento de las técnicas de previsión utilizadas.

2.4. Modelado de la Cadena de Suministro VMI

VMI es una técnica que está englobada dentro del concepto de técnicas colaborativas entre cliente (no confundir con cliente final) y proveedor. VMI significa Inventario manejado por el proveedor, es decir, quien determina qué se compra es el proveedor y no el cliente. Por supuesto es un acuerdo previo entre los socios, por eso es una técnica colaborativa. Para modelarlo se ha operado de la siguiente forma: El cliente le envía a su proveedor los stocks de los almacenes a reabastecer y los consumos que tiene, ya sean un Centro de Distribución o un local de venta. En base al acuerdo logístico que se citó mas arriba, el proveedor analiza los consumos de productos, los lead times, posibles modificaciones de la demanda, los días de stock máximos acordados, etc.; y decide cuánto es lo que tiene que reabastecer. Así el proveedor reabastece directamente, es decir, genera la orden interna de preparación de productos y la envía al cliente. De este modo, a las dependencias o Centros de distribución del cliente llegan los productos que el proveedor decidió reabastecer, para lograr siempre el nivel de servicio acordado. A diferencia de las anteriores cadenas modeladas, se ha simulado un proceso colaborativo entre dos niveles de la cadena, en este caso entre Minorista y Mayorista. La política de reabastecimiento utilizada en esta estructura por el mayorista para atender la demanda del minorista es la Order Up to level (S,s). Al utilizar esta política de control de inventario las ordenes de reabastecimiento se ejecutan con la intención de llevar el estado del inventario a un nivel S siempre que éste alcance o esté por debajo del punto de pedido s. Se ha denominado de esta forma porque cuando el nivel inventario alcanza una cantidad definida previamente se lanza el pedido de reabastecimiento o fabricación.

3. Transformación Del Diagrama Causal Al Diagrama De Forrester

El diagrama de Forrester es una traducción del Diagrama Causal 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 será Vensim®

Las anterior consideración 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 variables 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 Cadena de Suministro 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 apartado segundo y se corresponden con los niveles de servicio alcanzados en cada nivel y los costes producidos por almacenaje, pedidos y stockout.

De acuerdo con lo expuesto por Chen et al (2000), se propone, en primer lugar, como ratio para medir la amplificación de las ordenes de reaprovisionamiento o fabricación (dependiendo del nivel de la cadena que se considere) con respecto a la demanda del cliente final, el siguiente (3):

$$Bullwhip = \frac{\sigma_o^2 / \mu_o}{\sigma_D^2 / \mu_D} = \frac{\sigma_o^2}{\sigma_D^2} \quad (3)$$

Es decir la varianza las ordenes de reabastecimiento respecto de la varianza de la demanda del cliente final. En segundo lugar, según Disney y Towill (2003), el efecto Bullwhip produce el aumento de la variabilidad en el tamaño de los inventarios a lo largo de cada nivel de la cadena. La fórmula propuesta por estos autores a fin de medir esa variación es la siguiente (4):

$$NSAmp = \frac{Varianza(NS)}{Varianza(D)} \quad NSAmp = \frac{\sigma_{NS}^2 / \mu_{NS}}{\sigma_D^2 / \mu_D} \quad (4)$$

NS: Inventario Neto

D: Demanda

NSAmp: Net Stock Amplification

La formula anterior representa la variación del inventario neto del nivel que se esté analizando con respecto a la demanda del cliente final.

5. Diseño Del Experimento

La Cadena de Suministro tradicional construida para este trabajo, consta, como ya se dijo en el apartado 2.2 de cliente final, minorista, mayorista y fabricante. Según Forrester(1958), la falta de comunicación entre cada uno de los integrantes de la cadena construida, 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 cadena modelada, esto es, como repercuten, por ejemplo, los pedidos pendientes de un nivel en los adyacentes, produciendo un incremento en la variabilidad de los inventarios y por lo tanto en las órdenes de reabastecimiento y en las previsiones. Todo esto se verá reflejado en niveles de servicios y en los costes totales del nivel que se analice. En este trabajo se ha simulado el proceso de gestión de demanda de las cadenas de suministro tradicional, EPOS y VMI a fin de comprobar la utilización de estructuras colaborativas tanto en la reducción del efecto Bullwhip como en los costes asociados al proceso de gestión de demanda.

A continuación se mostrarán algunos de los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas para los modelos creados. Los valores de los parámetros utilizados (elegidos al azar) son los siguientes:

- 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 y el tiempo de suministro del fabricante al mayorista es de 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 es igual a 2
- El factor de ajuste de 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
 - Costes de Penalización (solo estructura VMI): 500 €/periodo de stockout

5.1. Resultados de la Simulación Realizada

5.1.1 El Efecto Bullwhip en Cada Nivel. Costes de Inventario y Stockout

A continuación se detalla el efecto Bullwhip y la medida de NSamp en el nivel del Mayorista para las cadenas simuladas (Figura 1). El nivel del minorista no se representan dichos efectos ya que al ser el primer eslabón de la cadena la diferencia entre las estructuras modeladas no es significativa. Observar en la figura 1 que las estructuras EPOS y VMI consiguen mejores resultados en el nivel del mayorista en cuanto al efecto Bullwhip que la cadena Tradicional. Al comienzo de la simulación el efecto Bullwhip en la estructura VMI es muy pronunciado a consecuencia de los requisitos que se imponen en términos de inventario al mayorista (límites prefijados por el minorista) por lo que las órdenes de reabastecimiento hacia el fabricante sufren fuertes variaciones hasta que el inventario del minorista entra dentro del acuerdo establecido. Tras este momento el efecto Bullwhip y NSamp de la cadena VMI comienzan a disminuir. La cadena EPOS muestra mejores resultados en términos de variabilidad de órdenes de reabastecimiento y variabilidad del inventario neto que Tradicional y VMI a causa de la mejora que en las previsiones ocasiona que el mayorista reciba información continua de las ventas. La colaboración intraempresarial modelada entre Mayorista y Minorista para la cadena VMI surte efecto en términos de coste por stockout ya que ésta presenta los costes más bajos. Los pedidos pendientes que existen en determinados instantes de los periodos de la simulación realizada

ocasionan costes por stockout.

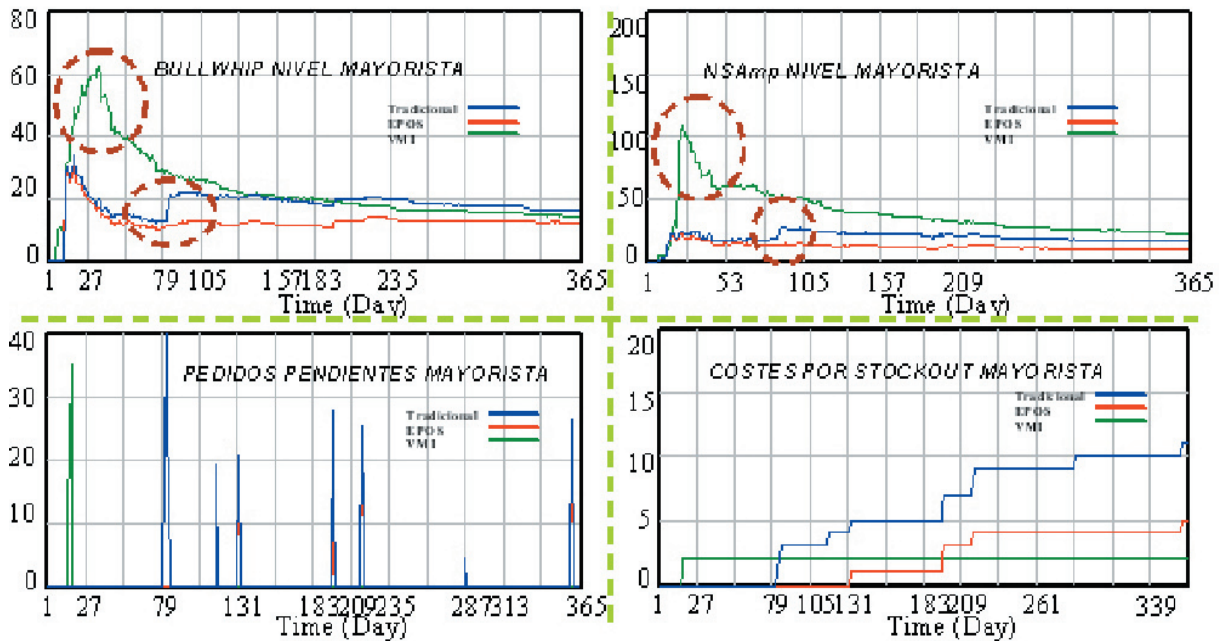


Figura 1. Variaciones en el efecto Bullwhip y NSamp causadas por Stockout. Cadenas Tradicional, VMI y EPOS

Estos periodos crean importantes variaciones en el efecto Bullwhip y en NSamp (Figura 1) que se presentan numéricamente en la Tabla 1 en color naranja delimitados por un recuadro rojo y en la Figura 1 rodeados de un círculo marrón. Observe el lector las fuertes subidas que, tras los periodos de pedidos pendientes, se producen en la medida del efecto Bullwhip.

Para el nivel del fabricante los resultados son semejantes a los presentados para el nivel del mayorista. La cadena EPOS sigue ofreciendo mejores resultados en cuanto al efecto Bullwhip y NSamp que la tradicional y VMI.

Tabla 1. Ejemplo de periodos de Stockout que producen fuertes variaciones en el efecto Bullwhip

Time (Day)	BULLWHIP			PEDIDOS PENDIENTES			COSTES STOCKOUT		
	TRADICIONAL	EPOS	VMI	TRADICIONAL	EPOS	VMI	TRADICIONAL	EPOS	VMI
11	0	0	9.401421547	0	0	0	0	0	0
12	18.24206352	25.21645737	12.07368088	0	0	0	0	0	0
13	28.13849068	27.4436076	29.79172516	0	0	0	0	0	0
14	30.32872501	28.73581314	31.35440445	0	0	0	0	0	0
15	28.37573051	24.97788046	32.72219849	0	0	0	0	0	0
16	27.3589859	25.62117577	39.34178925	0	0	10.9318199	0	0	0
17	29.34154701	27.51931572	41.09218979	0	0	34.87883	0	0	1
18	31.58477974	29.68151428	44.99264145	0	0	0	0	0	2
19	33.77863803	30.70814514	48.84652328	0	0	0	0	0	2
20	28.13183022	25.68495369	45.85219193	0	0	0	0	0	2
21	27.37767801	24.94528961	48.70548248	0	0	0	0	0	2
22	26.54804993	24.26916122	52.04801178	0	0	0	0	0	2
23	26.50686646	24.08742714	53.34893362	0	0	0	0	0	2
...
80	12.40971334	10.32421017	28.54396439	0	0	0	0	0	2
81	12.41743183	10.36775303	28.34231587	0	0	0	0	0	2
82	12.50933552	11.13770676	28.78705025	39.82627759	0	0	0	0	2
83	19.83022232	10.978367	27.72580719	28.14720917	0	0	1	0	2
84	20.65755944	11.20983982	27.9746886	14.84303885	0	0	2	0	2
85	21.02940941	11.49358463	28.45935249	0	0	0	3	0	2
86	20.57542801	11.30225754	27.3553791	0	0	0	3	0	2
87	20.61560059	11.37910366	26.97792244	0	0	0	3	0	2

En esta última los resultados que se muestran para las dos medidas anteriores permiten entrever que la falta de conexión entre mayorista y fabricante produce errores en las previsiones de este último que revierten en costes de stockout y alta variabilidad del inventario neto.

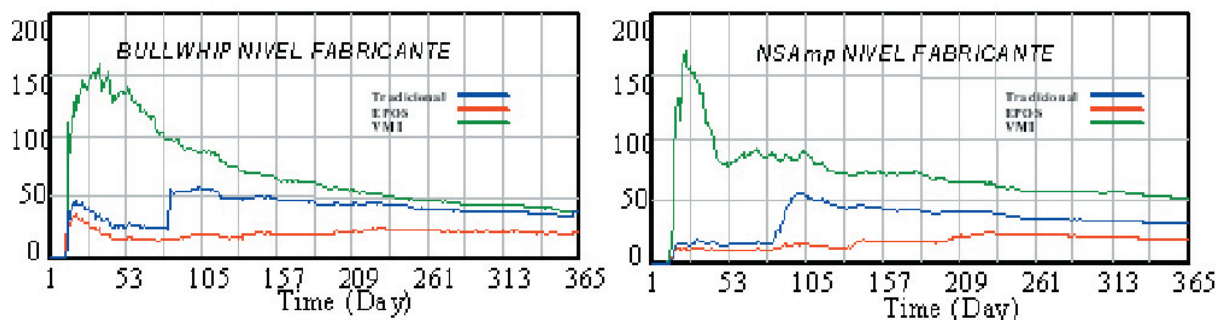


Figura 2. Efecto Bullwhip en el Nivel del Fabricante

En términos de costes de almacenamiento los peores resultados los arroja la cadena VMI, otra vez a causa del contrato establecido entre minorista y mayorista. Por supuesto si se consideran los costes de stockout como los más perjudiciales (Ya que pueden suponer, entre otros, la pérdida de clientes) la cadena VMI es la mas adecuada para la Gestión de Demanda. En la Figura 3 se presentan los costes de almacenamiento arrojados por las simulaciones realizadas para los niveles del Mayorista y el Fabricante. Nótese como al aumentar el efecto Bullwhip aguas arriba de la cadena (Figuras 1 y 2) los costes de almacenamiento también aumentan en una proporción semejante al reaccionar el sistema lanzando órdenes de reabastecimiento para eliminar los pedidos pendientes existentes.

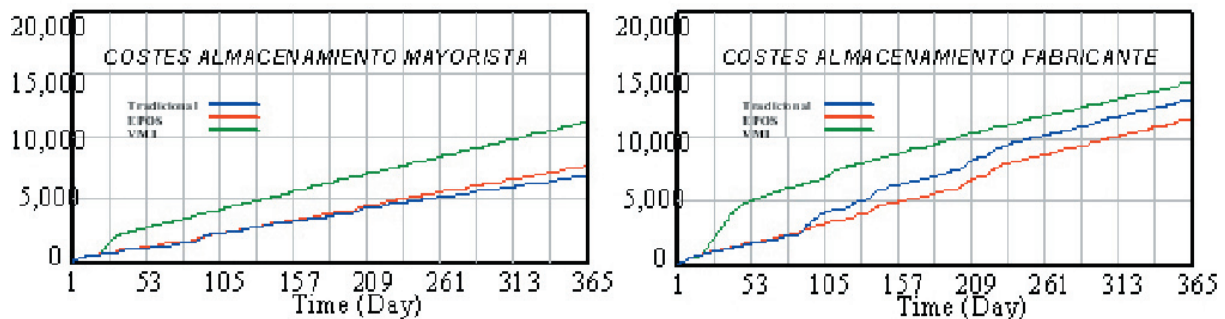


Figura 3. Costes de Almacenamiento en los niveles de Mayorista y Fabricante para las estructuras Tradicional, VMI y EPOS.

6. Conclusiones

Tras los resultados obtenidos con las simulaciones de las tres estructuras propuestas se puede concluir que las estructuras colaborativas no solo mejoran el efecto Bullwhip, además reducen los costes del total de la cadena de suministro en la que se practiquen. La cadena EPOS se ha mostrado más eficiente que VMI y tradicional en la reducción del efecto Bullwhip y en costes de almacenamiento. En la cadena VMI dichos costes pueden variar en función del inventario Máximo y Mínimo prefijados y de la orden de reaprovisionamiento elegida, lo que puede ser objeto de futuros estudios.

La reducción del efecto Bullwhip gracias a la mejora de las previsiones al utilizar estrategias colaborativas da una idea de la importancia de estas últimas en la eliminación de otros problemas

en la Gestión de la Variabilidad de la Demanda como pueden ser las Fluctuaciones en los precios, la lotificación de pedidos o el racionamiento de productos terminados en determinados periodos fomentado por proveedores para estimular la demanda.

En consecuencia, el modelo desarrollado, puede ser útil para el nivel táctico de una organización o compañía 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), pudiendo el investigador decidir el caso que mejor se adapte a los objetivos propuestos, por ejemplo, el intentar la disminución del efecto Bullwhip en un determinado nivel de la cadena utilizando en el mismo una orden de reabastecimiento diferente o 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 de cada nivel de la cadena como puedan ser los tiempos de suministro o la capacidad de fabricación.

Referencias

- Aracil , J. ,Gordillo, F. (1997) *Dinámica de Sistemas* . Alianza Universidad Textos. Madrid
- Berry , D. (1994) *The análisis , modelling and simulation of a re-eninneered PC supply chain.* University of wales Cardiff. PhD Thesis
- Campuzano, F. (2006) *Modelo de Gestión de la Variabilidad de la Demanda en la Cadena de Suministro. Análisis del Efecto Bullwhip.* Tesis Doctoral Europea. Valencia 2006. Premio CEL Universidad 2007.
- Campuzano , F.; Lario F.C.; Ros , L. (2006) *Variabilidad de la Demanda y sus efectos segúndistintas políticas de Gestión de la Cadena de Suministro. Modelado y Simulación.* X Congreso de Ingeniería de Organización. Valencia, 7 y 8 de septiembre de 2006
- 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) *On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy* . The International Journal of Management Science. Pp 157-167
- Disney , S.M.; Naim M.M.; A. Potter (2004) :*Assessing the impact of e-business on supply chain dynamics* . International Journal of production economics. Volume 89, Issue 2, 28 May 2004, Pp 109-118
- Forrester, J. (1958): *Industrial Dynamics, A Major Breakthrough for Decision Makers.* Harvard Business Review, July-August, pp 67-96.
- 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. (2000) *Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World*. NY: McGraw-Hill Higher Education