

Influencia de la fluctuación de los precios en el efecto Bullwhip. Caso de patrón de demanda final escalonado⁸²

Francisco Campuzano Bolarín¹, Antonio Guillamón Frutos², Francisco Cruz Lario Esteban³, 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 Matemática aplicada y estadística. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Muralla del Mar s/n, 30201. Cartagena. antonio.guillamon@upct.es

³ Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. fcario@omp.upv.es

Resumen

La fluctuación de los precios es una práctica utilizada normalmente por los empresarios para estimular la demanda. Asumiendo un patrón de demanda tipo escalón, que responde elásticamente a la fluctuación de los precios ofrecidos por el minorista al cliente final, se analizará, utilizando el modelo dinámico de gestión de cadena de suministro propuesto por Campuzano (2006), como influyen dichas fluctuaciones en la variabilidad de las órdenes generadas a lo largo de una Cadena de Suministro Tradicional multinivel. Además, utilizando los resultados obtenidos, se propone un modelo de previsión para calcular la posible variación de las órdenes generadas en cada nivel, a partir del patrón de precios utilizado.

Palabras Clave: Efecto Bullwhip, Dinámica de Sistemas, Fluctuación de precios

1. Introducción

Forrester (1958) analizando una Cadena de Suministro Tradicional, 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 de la cadena, esta desviación se amplificaba aguas arriba de la misma en forma de órdenes de reabastecimiento. Este efecto es conocido como el **Efecto Forrester** y es uno de los indicadores de una gestión ineficaz de la Cadena de Suministro. Esa amplificación se debía, según Forrester, 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 los siguientes efectos que pueden darse incluso de forma simultánea en la Cadena de Suministro: la lotificación de pedidos, la fluctuación de los precios de los productos y al racionamiento y escasez de productos terminados. La distorsión en las órdenes de

⁸² Este trabajo deriva de la investigación realizada dentro del marco del proyecto Evolution, DPI 2007-65501 financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia.

reabastecimiento de productos con respecto a la demanda del cliente final que la combinación de estos 4 elementos produce, distorsión que va aumentando según nos separamos del consumidor final y nos adentramos en la Cadena de Suministro, se le denomina ***efecto Bullwhip***.

El estudio del Efecto Bullwhip ha dado lugar a multitud de trabajos orientados no solo a la resolución del mismo utilizando diferentes estrategias de gestión, también al análisis de las causas que producen dicho efecto. Destacar el reciente artículo de Lee et al. (2004) que proporciona un excelente resumen enfocado al análisis de las causas y posibles soluciones del efecto Bullwhip.

En este artículo, se analiza el efecto que produce la fluctuación de los precios ofrecidos al cliente final, en la variabilidad de las órdenes de reabastecimiento/fabricación generadas por cada uno de los integrantes de una cadena de suministro tradicional multinivel (formada por fabricante, mayorista, minorista, y cliente final), con respecto a la demanda real. El efecto de dichas fluctuaciones se cuantificará utilizando el coeficiente de variación asociado a cada uno de las series objeto de estudio (series de precios y órdenes de reabastecimiento/fabricación). El efecto Bullwhip aparecerá cuando la variabilidad de las órdenes de reabastecimiento/fabricación aumente según nos desplazemos aguas arriba de la Cadena de Suministro.

La fluctuación de los precios es una práctica utilizada normalmente por los empresarios para estimular la demanda.

Es normal que entre Mayoristas y Fabricantes se establezcan políticas con referencia a los precios de los productos. Según que casos el Fabricante puede llegar a ofrecer descuentos, habitualmente por volumen de producto, que pueden hacer que el Mayorista llegue a comprar incluso más de lo que necesita. Si la diferencia entre el precio real del artículo y el de oferta es mayor que los costes de almacenaje del mismo, esta táctica resulta rentable para el Mayorista en un primer momento, pero si éste no estudia adecuadamente su demanda puede que sus costes de almacenaje superen en gran medida la diferencia de precios comentada.

Además puede ocurrir que mientras dura la política de reducción de precios, el Mayorista siga comprando productos hasta llenar sus almacenes. En ese caso la información sobre la demanda que reciba el Mayorista no estará reflejada en sus compras al Fabricante, situación que influirá en la aparición y/o magnificación el efecto Bullwhip ya que el tamaño de las órdenes de reabastecimiento del Mayorista nada tendrán que ver con la demanda de artículos por parte del minorista, lo que ocasionará previsiones erróneas aguas arriba de la Cadena de Suministro.

Cuando termine la política de reducción de precios, el Mayorista se limitará a satisfacer la demanda disponiendo de los productos almacenados lo que desvirtuará los pronósticos del Fabricante, al ver disminuir sus ventas con relación a periodos anteriores. Estas previsiones inducirán al Fabricante a disminuir su actividad productiva lo que es posible que posteriormente le ocasione roturas de stock en su almacén. El Mayorista puede realizar semejantes políticas de precios con respecto a Minoristas y estos a su vez con el cliente final.

Esta práctica de variación o modificación de los precios por parte de los integrantes de la cadena “aguas abajo” de la misma ha sido estudiada por quienes analizan como dicha variación (que conlleva acciones especulativas) puede aumentar según avanzamos aguas abajo de la cadena de suministro, constituyendo lo que dichos autores llaman “Reverse Bullwhip effect in Pricing” (RBP). Dicho análisis complementa a los estudios de

Cowan(2004) sobre el impacto de los cambios en los patrones de demanda en los precios de venta dentro de diferentes tipos de economías y, consecuentemente en los beneficios que estos cambios conlleven. Para Özelkan et al (2007) la fluctuación de los precios puede ser la causa de un aumento en la distorsión en las ordenes de reabastecimiento(o lo que es lo mismo un aumento del efecto Bullwhip) aguas arriba de la cadena de suministro. Nuestro trabajo pretende ser una continuación del análisis de dichos autores estudiando, si, efectivamente, **la fluctuación de los precios ofrecidos al cliente final por parte del minorista, influye en la correcta gestión de la cadena de suministro Tradicional**. Asumiendo un patrón de demanda tipo escalón, que responde elásticamente a la fluctuación de los precios ofrecidos por el minorista, se analizará, utilizando el modelo dinámico de gestión de cadena de suministro propuesto por Campuzano (2006), como influyen dichas fluctuaciones en la variabilidad de las órdenes generadas a lo largo de la Cadena de Suministro modelada (coeficiente de variación). Además, utilizando los resultados obtenidos, se intentará predecir cuál será la posible variación de las órdenes generadas en cada nivel, a partir del patrón de precios utilizado.

El modelo incorpora las variables necesarias para caracterizar el proceso de gestión de demanda (niveles de inventario, órdenes de reabastecimiento, fabricación, previsiones, etc). A diferencia de otros modelos, en el desarrollado 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. Además puede ser utilizado con facilidad para recrear diferentes tipos de estrategias de gestión de cadenas de suministro (**diferentes escenarios**) con el objetivo de medir el impacto de éstas en el proceso de gestión de demanda.

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 o Forrester.

3. Construcción del modelo causal de un sistema

El conjunto de los elementos que tienen relación con el problema objeto de estudio y permiten en principio explicar el comportamiento observado, junto con las relaciones entre ellos, en muchos casos de realimentación, forman el Sistema a modelar. El Diagrama Causal es como su propio nombre indica un diagrama que recoge los elementos clave del Sistema y las relaciones entre ellos.

3.1. 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:

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.

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). 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)*

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

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

e) *La previsión de demanda (tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante).* La previsión se ha realizado utilizando alisado 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).*

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 (1):

$$O_t = D_t + k \cdot \sigma_t - \text{Estado de inventario}_t \quad (1)$$

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

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

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).*

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

p) El patrón de precios: Como se ha indicado anteriormente, la fluctuación de los precios es una práctica comúnmente utilizada para estimular la demanda en periodos en los que esta desciende o bien cuando se produce un exceso o escasez de producción. Un patrón de precios con componente estacional es muy adecuado para modelar todo este tipo de situaciones. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, en el presente estudio se tomó un patrón de precios semanal con componentes estacional correspondiente a 780 observaciones (3 años a razón de 5 observaciones por semana) y se perturbó con 3 niveles de ruido, realizándose 3 simulaciones en cada caso.

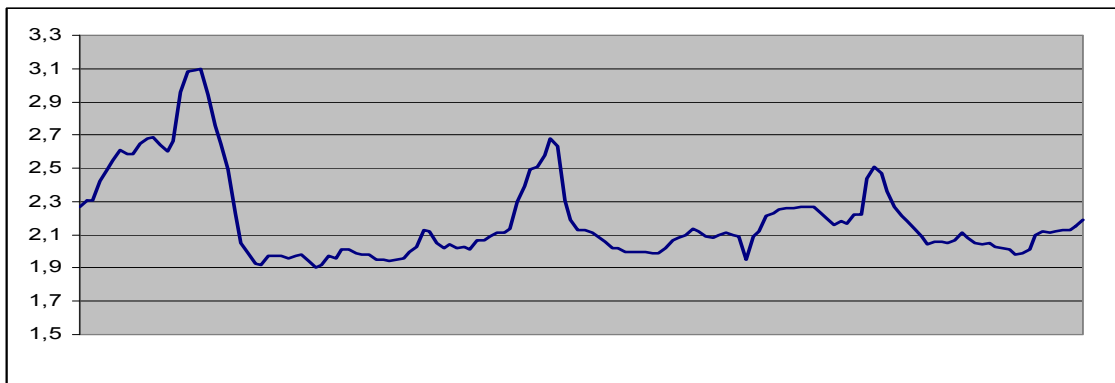


Figura 1.- Serie de precios original

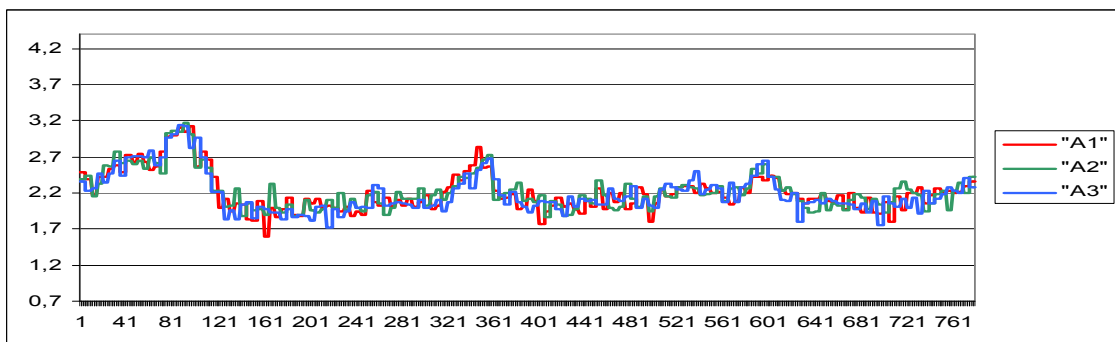


Figura 2.- Serie perturbada con variabilidad baja.

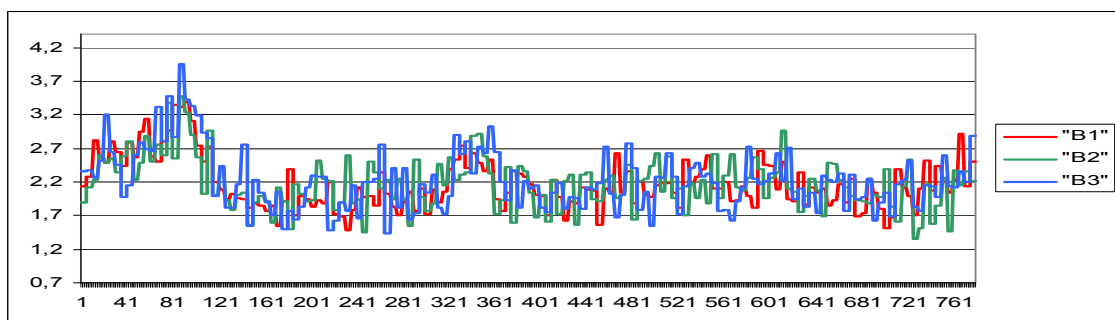


Figura 3.- Serie perturbada con variabilidad media.

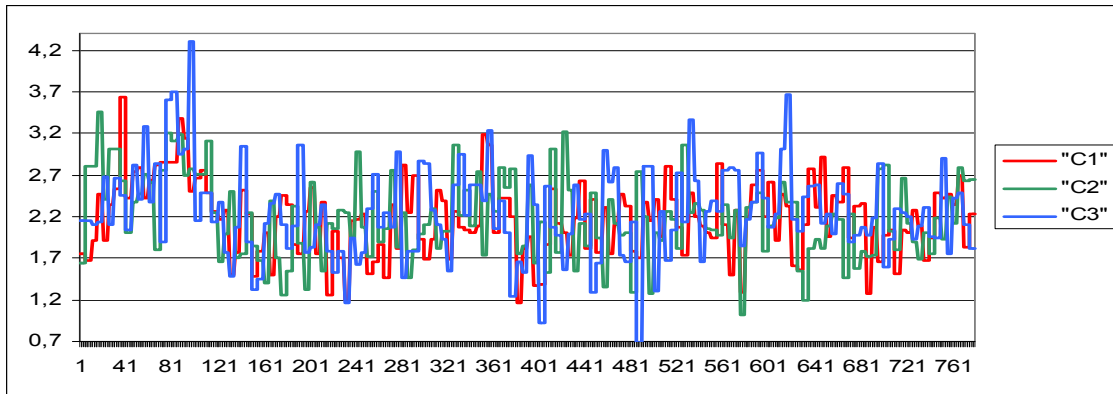


Figura 4.- Serie perturbada con variabilidad alta.

q) Patrón de demanda: Se ha trabajado con el siguiente patrón de demanda tipo escalón, que responde elásticamente a la fluctuación de los precios del minorista. (Ver figura 5)

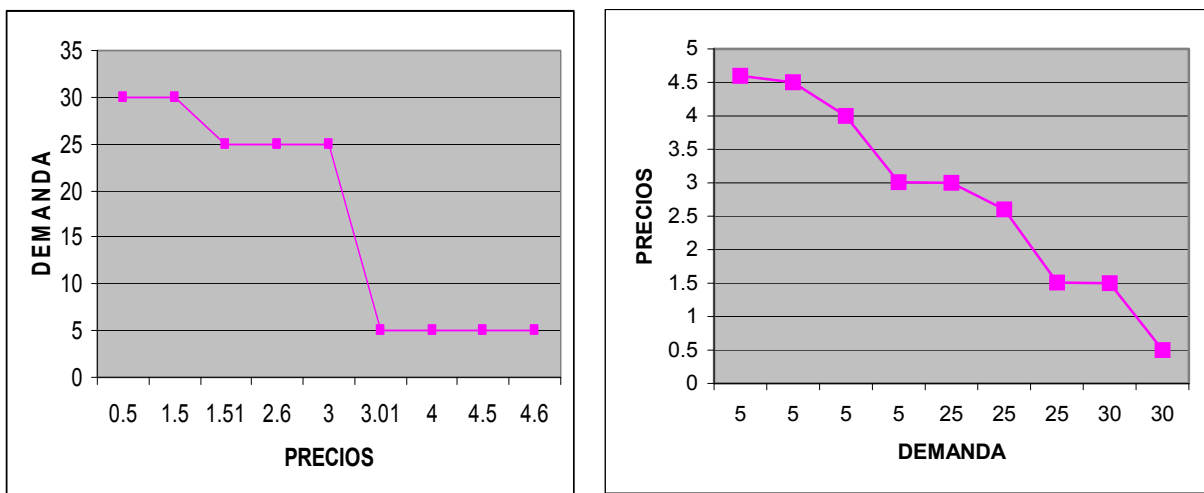


Figura 5.- Patrón de Demanda

3) 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 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 soporte informático utilizado para realizar las simulaciones del modelo creado es **Vensim®**

4. Diseño del experimento

Para la simulación del modelo propuesto se han utilizado los siguientes parámetros que definen las características de la cadena de suministro tradicional modelada

- La simulación se realizó durante un periodo de 780 días, 3 años a razón de 5 observaciones por semana (suficiente para que el modelo se estabilice).

- El nivel de Inventario inicial para los niveles fabricante es de 100 unidades y para el nivel del minorista es de 30 unidades.
- La capacidad del fabricante es de 160 unidades diarias
- El tiempo de suministro del mayorista al minorista es de 2 días y el tiempo de suministro del fabricante al mayorista es también de 2 días. Estos tiempos se suponen constantes para cada pedido recibido excepto en el caso de stockout.
- El tiempo de fabricación es de 3 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 $\alpha=0.5$

4.1. Primeros Resultados

Con el fin de estabilizar el coeficiente de variación, se descartaron los resultados obtenidos para los 260 primeros datos (1^{er} año) en cada uno de los niveles modelados, para posteriormente trabajar con los datos obtenidos tras ese instante.

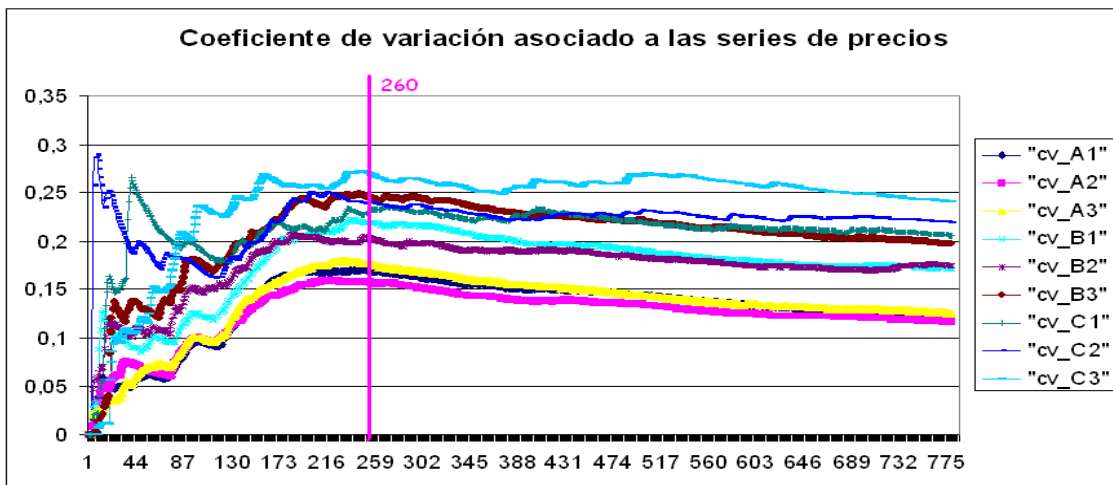


Figura 6.- Coeficiente de variación asociado a los 9 patrones de precios.

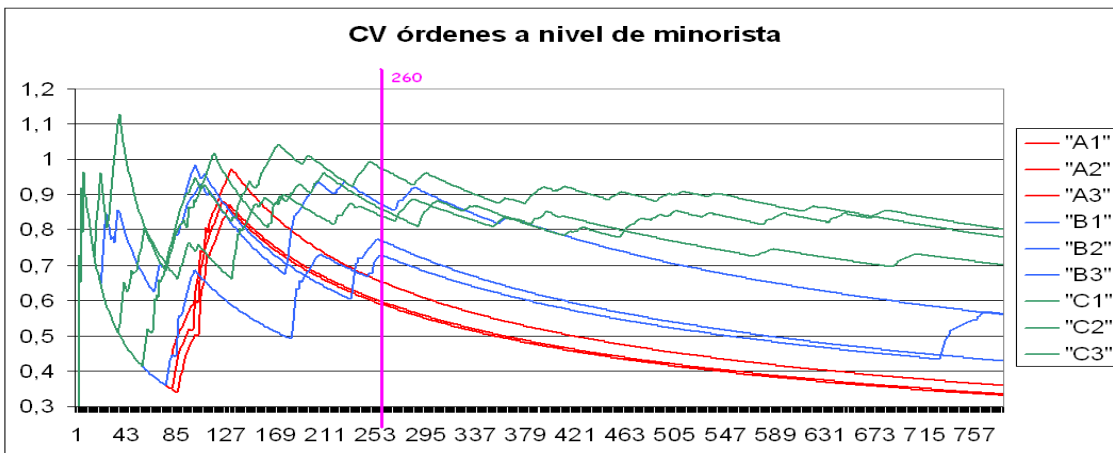


Figura 7.- Coeficiente de variación asociado a las órdenes generadas por el minorista.

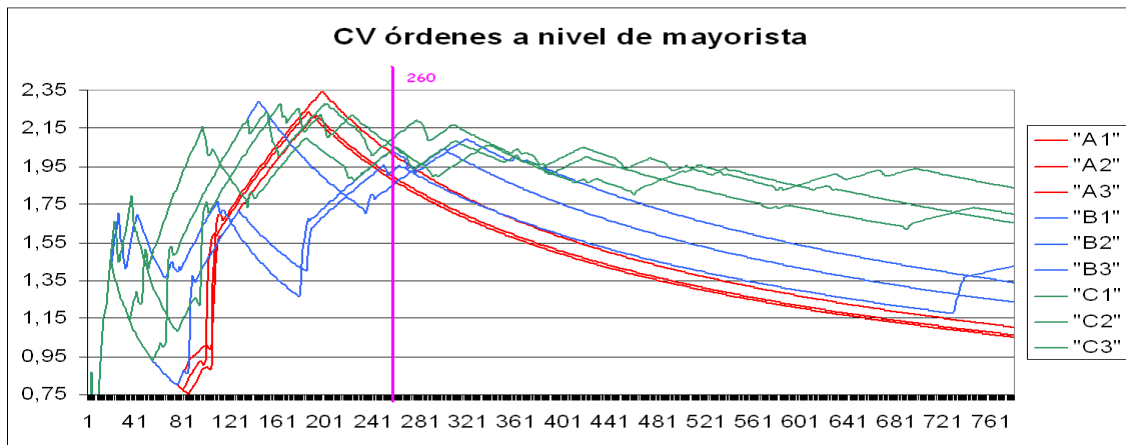


Figura 8.- Coeficiente de variación asociado a las órdenes generadas por el mayorista.

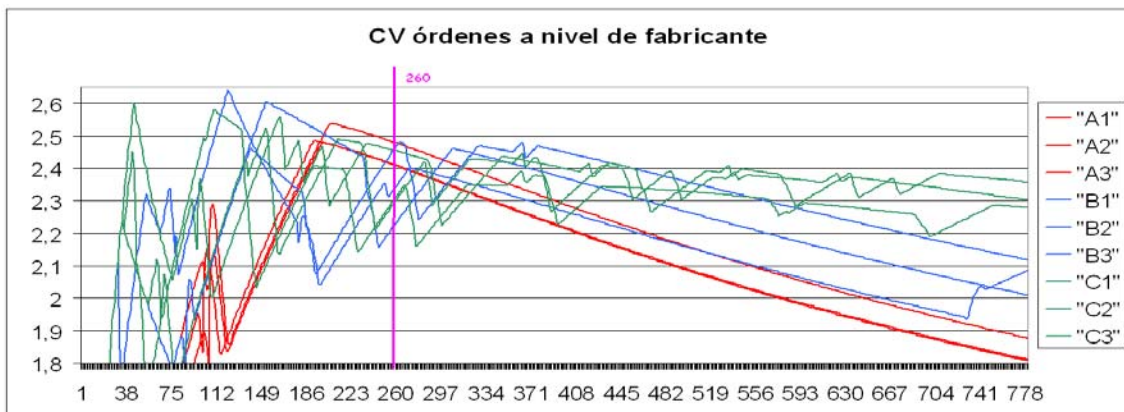


Figura 9.- Coeficiente de variación asociado a las órdenes de fabricación.

Como se observa en las figuras 7,8 y 9 la variabilidad de las órdenes aumenta aguas arriba de la cadena de suministro lo que pone de manifiesto la aparición del efecto Bullwhip en la cadena simulada(ver Tabla 1).

Tabla 1.- Rango y promedio de los distintos coeficientes de variación.

	Valor mínimo	Valor promedio	Valor máximo
Cv_Precios	0,11679	0,19019	0,26951
Cv_min	0,33062	0,62160	0,96862
Cv_may	1,0504	1,6114	2,1928
Cv_fab	1,8074	2,2270	2,4812

De los resultados obtenidos en las distintas simulaciones realizadas, se obtiene una correlación positiva entre la variación de los precios y las órdenes de reabastecimiento/fabricación en los distintos niveles, disminuyendo ésta conforme nos alejamos de un nivel a otro (ver Tabla 2).

Tabla 2.- Correlación entre los diferentes coeficientes de variación.

	Cv_Precios	Cv_min	Cv_may
Cv_min	0,951		
Cv_may	0,837	0,931	
Cv_fab	0,755	0,823	0,929

En la tabla anterior las variables CV_Precios, CV_min, CV_may y Cv_fab representan los coeficientes de variación asociados a las series de precios, y las series de reabastecimiento/fabricación en los distintos niveles (minorista, mayorista y fabricante). Por otro lado se obtiene que **no es posible prever con garantías la evolución de los coeficientes de variación en los niveles de mayorista y fabricante únicamente utilizando la información sobre la fluctuación que se produce en la serie de precios.**

4.2. Elaboración de un modelo predictivo.

A la hora de construir un modelo predictivo para poder cuantificar la variación de las órdenes generadas a causa de la fluctuación de los precios, se han utilizado modelos de regresión lineal en los que cada nivel utiliza la información de la que dispone, esto es, el minorista dispone únicamente de la fluctuación de los precios, el mayorista dispone de dos fuentes de información, la fluctuación de los precios y la variación de las órdenes generadas por el minorista, y por último, el fabricante dispone al igual que el mayorista, de la fluctuación de los precios y la variación de las órdenes generadas por el mayorista.

Los modelos predictivos obtenidos vienen dados por las siguientes expresiones:

- $CV_{min} = -0,156 + 4,09 CV_{Precios} (R^2=0.905)$
- $CV_{may} = 0,864 - 3,63 CV_{Precios} + 2,31 CV_{min} (R^2=0.893)$
- $CV_{fab} = 1,38 - 0,290 CV_{Precios} + 0,558 CV_{may} (R^2=0.865)$

Cada integrante de la cadena simulada tiene asociado un modelo que permite el cálculo de la variación de la orden de reabastecimiento/fabricación que se generaría en función de la información de que dispone. Resulta importante destacar la alta fiabilidad de los modelos obtenidos ya para los tres niveles utilizados se obtienen coeficientes de determinación superiores al 0,85.

5. Conclusiones.

Los resultados ofrecidos por las simulaciones realizadas en este trabajo **no pueden generalizarse a todos los casos** que se planteen. La utilidad de la metodología propuesta es ofrecer a través del modelo utilizado, la posibilidad de generar diferentes escenarios, gracias a la modificación conjunta de diversos parámetros, pudiendo el investigador decidir el caso que mejor se adapte a los objetivos propuestos,

En un primer instante, podemos afirmar que el modelo utilizado muestra la aparición del efecto Bullwhip ya que la variabilidad de las órdenes de reabastecimiento/fabricación aumentan conforme avanzamos aguas arriba de la cadena de suministro tradicional modelada.

Por otro lado, la variabilidad de los precios incide directamente en el aumento de la distorsión de las órdenes lanzadas por cada uno de los niveles de la cadena, disminuyendo dicha influencia en el nivel del mayorista y atenuándose aún más en el fabricante.

Con respecto al segundo de los objetivos del trabajo, esto es, elaborar un modelo predictivo para cuantificar la variación de las órdenes a causa de la fluctuación de los precios, se obtiene que no es posible prever con suficiente fiabilidad la variabilidad de las órdenes en los niveles de mayorista y fabricante con la única información de la evolución de los precios. Sin embargo, se ha elaborado un modelo que permite prever, con una fiabilidad superior al 85%, la evolución de la variabilidad de las órdenes emitidas en cada uno de los niveles a partir de la evolución de los precios y la información recibida en desde el nivel inmediatamente aguas abajo en el caso de mayorista y fabricante, esto es, el mayorista utiliza dos fuentes de información, la fluctuación de los precios y la variación de las órdenes generadas por el minorista, y por último, el fabricante utiliza al igual que el mayorista, la fluctuación de los precios y la variación de las órdenes generadas por el mayorista.

Referencias

- 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.
- Cowan S. (2004). “Demand shifts and imperfect competition”. University of Oxford, Department of Economics. *Discussion Paper Series; March 2004; Number 188;ISSN 1471-0498*. Available at URL: <http://www.economics.ox.ac.uk/Research/wp/pdf/paper188.pdf>
- Forrester, J. (1958). “Industrial Dynamics, A Major Breakthrough for Decision Makers”. *Harvard Business Review*, (July-August):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.
- Lee HL, Padmanabhan V, Whang S.(2004). “Comments on “Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect”, The bullwhip effect: Reflections”. *Management Science*, 50(12):1887-1993.
- Özelkan, E.C., Çakanyıldırım, M., (2007). “Reverse Bullwhip Effect in Pricing”. *European Journal of Operational Research*,doi:10.1016/j.ejor.2007.09.009