

Influencia de Nuevas Técnicas Predictivas en el Efecto Bullwhip: un Estudio de Simulación

Influence of Alternative Forecasting Techniques on the Bullwhip Effect: a Simulation Study

Campuzano-Bolarín F¹, Guillamón Frutos A, Ruiz Abellón MC

Abstract (English) The impact of the forecasting method on the Bullwhip effect has been studied in several papers. However, just the simplest forecasting techniques were considered. In this paper, the influence of alternative forecasting methods on several features of a supply chain (Bullwhip, NSamp and Fillrate) is tested. For that, different demand patterns were simulated and results of the new forecasting techniques were compared to the traditional ones (moving average, simple exponential and ARMA processes). Our findings show that the kernel regression method is a good alternative to reduce the Bullwhip and NSamp, providing also a high Fillrate.

Resumen (Castellano) Diferentes publicaciones han estudiado el impacto que produce sobre el efecto Bullwhip la inexactitud de las previsiones de demanda que se realizan en una cadena de suministro. En dichas publicaciones sólo se han considerado los métodos predictivos más simples. En el trabajo que se presenta, se contrasta la influencia de nuevos métodos predictivos sobre el efecto Bullwhip y la distorsión del inventario. Para ello, se han simulado en un modelo construido utilizando la dinámica de sistemas diferentes patrones de demanda. Los resultados obtenidos para el efecto Bullwhip con los nuevos métodos predictivos se compararon con los métodos tradicionales (medias móviles, alisado exponencial simple y modelos ARMA). El estudio de simulación muestra a la técnica de regresión núcleo como una buena alternativa para reducir el efecto Bullwhip y la distorsión del inventario.

¹ Francisco Campuzano Bolarín (✉)
Universidad Politécnica de Cartagena. Dpto. Economía de la Empresa. Campus Muralla del Mar
s/n, 30201. Cartagena. Tel: 968326475

Email: francisco.campuzano@upct.es

neto (NSamp), proporcionando al mismo tiempo un alto nivel de servicio (Fillrate).

Keywords: Bullwhip effect, supply chain, kernel regression; **Palabras clave:** efecto Bullwhip, cadena de suministro, regresión núcleo.

1.1 Introducción

El efecto Bullwhip refleja el aumento de la distorsión de la demanda que se produce aguas arriba en una cadena de suministro. El efecto Bullwhip ha sido estudiado por numerosos autores, que intentan no solo identificar las causas que lo producen, sino también reducirlo. Destacar Hosoda y Disney (2004), Dejonckheere et al (2004), Bayraktar et al (2008), Wright y Yuan (2008) y Campuzano et al (2008, 2010 y 2011), , Ouyang (2007), Mula et al. (2008) y Kastsianand y Mönnigmann (2011).

Este trabajo se centra en el estudio de una de las principales causas del efecto Bullwhip (Forrester 1961), esto es , el error en la exactitud de las previsiones. Algunos trabajos previos relacionados con el estudio de dicho problema corresponden a Chen et al (2000), Zhang (2004), Hosoda y Disney (2004) y Sun y Ren (2005). De este modo, se ha analizado la influencia de dos nuevas técnicas de previsión de la demanda (método Theta y regresión núcleo) sobre el efecto Bullwhip, la distorsión del inventario neto con respecto a la demanda (NSamp) y el nivel de servicio (FillRate). Para ello, se simularon en un modelo construido utilizando la metodología de la dinámica de sistemas seis patrones de demanda distintos, aplicándose las nuevas técnicas de previsión, así como las más usuales (medias móviles, alisado exponencial simple y ARIMA).

1.2 Características de la simulación realizada: Patrones de Demanda utilizados y Cadena de Suministro modelada

Con el fin de realizar el estudio de simulación propuesto, se generaron 6 patrones de demanda distintos y 5 réplicas de cada uno de ellos, todos ellos centrados en 21 y con una desviación típica de 7. La longitud de las series generadas fue de 720 datos, una longitud equivalente a la demanda diaria durante tres años, considerando 48 semanas por año y asumiendo cinco demandas semanales.

Los procesos de demanda simulados se pueden clasificar en dos grandes grupos: tres de ellos son procesos independientes e idénticamente distribuidos (i.i.d.) y los otros tres son procesos autorregresivos de orden 1.

Los tres procesos i.i.d. simulados fueron los siguientes:

- Modelo Normal o Gaussiano: Simulan procesos de demanda simétricos respecto a la media.

- Modelo Beta: Simulan procesos de demanda asimétricos con cola a la derecha, en los que predominan demandas de poca cuantía frente a algunas demandas grandes de manera excepcional.
 - Modelo Extrem: Simulan procesos contrarios a los beta, es decir, procesos con altas demandas que ocasionalmente se enfrentan a demandas de poca cuantía.
- Para de las series de demanda autorregresivas, se utilizaron tres niveles de dependencia atendiendo al coeficiente de autorregresión (0.25, 0.5 y 0.75), indicando un bajo nivel de dependencia, medio y alto, respectivamente.

Las principales características del modelo de cadena de suministro diseñado para este trabajo se resumen en los siguientes puntos:

- Una cadena de suministro formada por dos niveles, cliente y fabricante. El cliente realiza pedidos al nivel inmediatamente situado aguas arriba (Fabricante).
- El fabricante envía productos después de recibir una orden de pedido sólo si dispone de inventario físico disponible. Se ha considerado una estrategia de planificación tipo “PULL”.
- Los órdenes pueden ser parcialmente satisfechas (las órdenes a satisfacer incluyen la demanda actual mas los posibles pedidos pendientes) y las órdenes no satisfechas se convierten en pedidos pendientes.
- Los productos enviados llegan tras un tiempo de suministro determinado.
- El fabricante recibe materias primas de un proveedor (no modelado, luego se considera una fuente infinita de materias primas) y fabrica bajo ciertas restricciones de capacidad.
- En este trabajo las restricciones de capacidad no limitan el tamaño de las órdenes de fabricación (unidades fabricadas) ya que dicha capacidad de fabricación se ha fijado suficientemente alta para evitar que influya sobre el análisis propuesto.

1.3 Descripción de las Técnicas Predictivas Propuestas

Para realizar las previsiones de la demanda necesaria a fin de simular el proceso de gestión de la misma a lo largo de la cadena de suministro, se utilizaron 6 técnicas predictivas diferentes, dos de ellas novedosas (método Theta y regresión núcleo) a fin de evaluar su influencia sobre el efecto Bullwhip. A continuación se describe de forma breve cada una de las técnicas predictivas usadas en este trabajo.

Medias móviles: Es una técnica de suavizado utilizada frecuentemente para realizar previsiones a partir de observaciones cercanas. En este trabajo hemos utilizado una ventana de tamaño 5, es decir, la previsión en un instante se obtiene haciendo el promedio de los 5 valores observados con anterioridad.

Alisado exponencial simple: Este modelo se basa en la suposición de que la influencia de las observaciones decrece hacia el pasado de forma exponencial, ponderado por un parámetro conocido como parámetro de suavizado (alfa). La elección del parámetro de suavizado igual a 0.2 es una opción muy común ya que existen trabajos que indican que esta elección proporciona buenos resultados en cuanto a combinar de una manera equilibrada la influencia de observaciones y predicciones anteriores. Sin embargo, existe una opción alternativa llamada “alisado exponencial simple de parámetro libre”. En este caso se determina el valor óptimo del parámetro de suavizado, alfa, a partir de la equivalencia entre este tipo de modelos y los modelos ARIMA.

ARIMA: Esta metodología plantea toda una familia de modelos de series temporales, que pudiesen ajustarse para explicar la evolución de una variable a lo largo del tiempo. Asumen que los valores de una serie temporal, una vez que se ha transformado en estacionaria por sucesivas diferencias, puede ser explicada a partir de observaciones en instantes anteriores así como los errores de predicción cometidos en dichos instantes. En el caso de series i.i.d., al ser nulos los parámetros autorregresivos, este modelo se traduce en una media acumulada.

Método Theta: Este método desarrollado en Assimakopoulos and Nikolopoulos (2000) y simplificado posteriormente en Hyndman and Billah (2003), es una variante del alisado exponencial en el que se supone que existen cambios de tendencia locales en la serie observada. Dada una historia de demandas hasta el instante t , $\{d_1, d_2, \dots, d_t\}$, el método Theta de parámetro θ estima la demanda en el instante siguiente mediante:

$$\hat{d}_{t+1/t} = \tilde{d}_{t+1/t} + \frac{1}{2} \hat{b}_0 \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{(1-\alpha)^t}{\alpha} \right)$$

donde $\tilde{d}_{t+1/t}$ es la predicción obtenida usando alisado exponencial simple de parámetro ‘alpha’ y:

$$\hat{b}_0 = \frac{6(1-\theta)}{t^2 - 1} \left(\frac{2}{t} \sum_{i=1}^t i \cdot d_i - (t+1) \cdot \frac{\sum_{i=1}^t d_i}{t} \right)$$

Regresión núcleo: Esta técnica fue desarrollada de forma independiente por Nadaraya (1964) y Watson (1964). Dada una historia de demandas hasta el instante t , $\{d_1, d_2, \dots, d_t\}$, la regresión núcleo estima la demanda en el instante siguiente mediante:

$$\hat{d}_{t+1/t} = \frac{\sum_{i=1}^t K\left(\frac{t-i}{h}\right) d_i}{\sum_{i=1}^t K\left(\frac{t-i}{h}\right)}$$

donde $K(x)$ es la función núcleo, elegida tradicionalmente entre una gran variedad de funciones de densidad simétricas, y ' h ' es el ancho de banda, cuya elección es clave en los ajustes de regresión no paramétricos. En este trabajo, se utilizó el núcleo Gaussiano y el ancho de banda se seleccionó usando el método desarrollado por Ruppert et al (1995).

Señalar que las técnicas predictivas de alisado exponencial de parámetro libre, método Theta y ARMA se aplicaron usando el paquete de R '*forecast*' (véase Hyndman (2008)), mientras que la regresión núcleo se aplicó usando el paquete '*lokern*' (véase Herrmann (2010)).

1.4 Análisis de los Resultados Obtenidos

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras aplicar, para cada una de las series de demanda simuladas, las seis técnicas de predicción descritas en el apartado anterior, así como el valor de los parámetros para el análisis de la cadena de suministro modelada, esto es, Bullwhip, NSAmp y Fillrate..

Como se indicó en el apartado 2, se han simulado patrones de demanda que constan de 720 datos (equivalente a 3 años). Una vez calculados los parámetros de análisis de la cadena de suministro modelada, se descartaron los primeros 240 datos (un año), con el fin de evitar el periodo de transición que se produce al comienzo de la simulación y que distorsiona los valores del efecto Bullwhip y NSAmp. A modo de ejemplo, en el siguiente gráfico se muestra el resultado obtenido para la simulación número cinco del patrón de demanda Gaussiano.

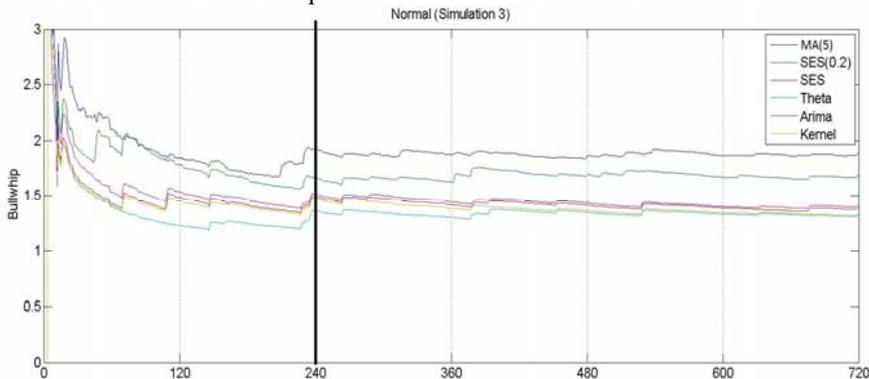


Fig. 1 Valores del Bullwhip para la una muestra del patrón de demanda Gaussiano.

A continuación se muestran los diagramas de cajas correspondientes a la medida del efecto Bullwhip, la distorsión del inventario neto NSAmp y Fillrate para cada uno de los patrones de demanda simulados y las técnicas de previsión utilizadas.

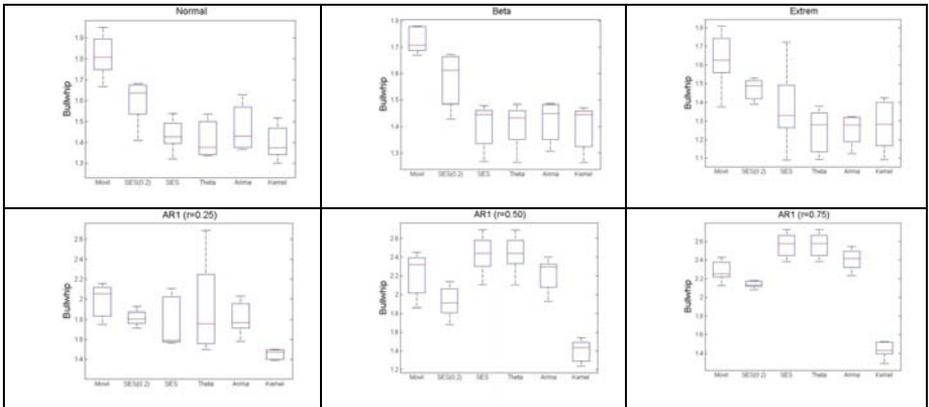


Fig. 2 Diagrama de cajas del Bullwhip para cada patrón de demanda y cada técnica predictiva.

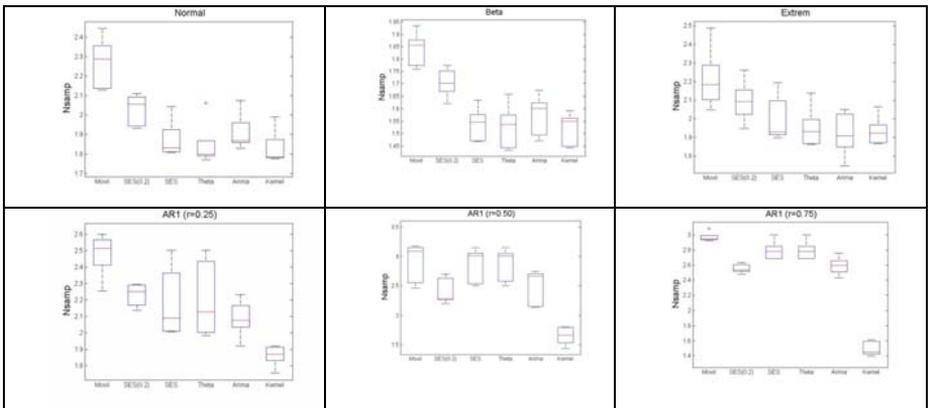


Fig. 3 Diagrama de cajas del NSamp para cada patrón de demanda y cada técnica de previsión.

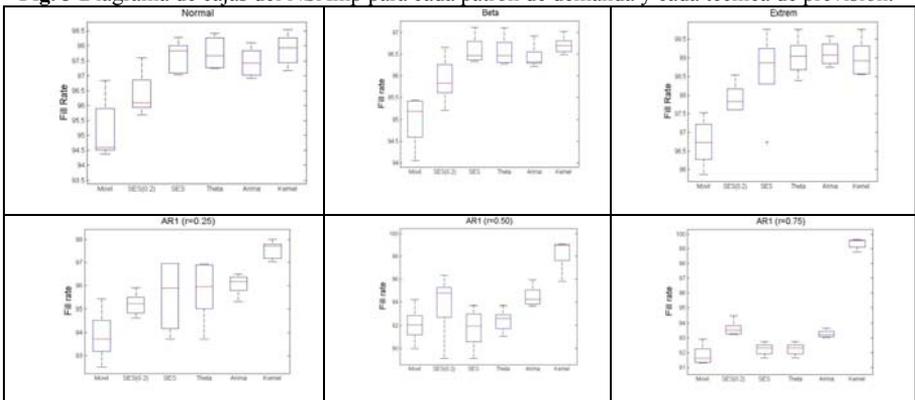


Fig. 4 Diagrama de cajas del FillRate para cada patrón de demanda y cada técnica de previsión.

Obsérvese que para los patrones de demanda i.i.d., el método Theta, ARMA y regresión núcleo, proporcionan valores similares de Bullwhip, NSamp y Fillrate. Sin embargo, para los patrones de demanda autorregresivos, la técnica de regresión núcleo proporciona claramente los menores valores de Bullwhip y NSamp (y valores más altos de Fillrate), siendo las diferencias más acentuadas conforme aumenta el coeficiente de correlación.

1.5 Conclusiones

En este trabajo se estudia la influencia de nuevas técnicas de previsión de la demanda sobre algunos parámetros en una cadena de suministro, tales como Bullwhip, NSamp y FillRate. Para el estudio de simulación, se generaron seis patrones distintos de demanda y se aplicaron seis técnicas distintas de previsión, tres de ellas originales en este tipo de estudios.

Los resultados obtenidos muestran que, en el caso de patrones de demanda i.i.d., las técnicas predictivas ARMA, método Theta y regresión núcleo, proporcionan resultados similares de Bullwhip, NSamp y FillRate, siendo preferibles a las técnicas usuales de medias móviles o alisado exponencial simple. Sin embargo, en el caso de patrones de demanda con dependencia autorregresiva, la técnica de regresión núcleo proporciona los menores valores de Bullwhip y NSamp (mayores valores de FillRate), creciendo las diferencias con la correlación presente en el modelo de demanda.

Aunque es conocido que una mejor previsión de la demanda no implica un efecto Bullwhip menor (Chaharsooghi et al (2008)), la técnica de regresión núcleo presenta las dos características deseadas: buenas previsiones de la demanda y reducción del efecto Bullwhip.

1.6 Referencias

Assimakopoulos, V. and Nikolopoulos, K. (2000). "The theta model: a decomposition approach to forecasting". International Journal of Forecasting ,16. 521-530.

Bayraktar, E., Lenny Koh, S.C., Gunasekaran, A., Sari, K., Tatoglu, E.(2008). "The role of forecasting on bullwhip effect for E-SCM applications". International Journal of Production Economics 113, pp. 193–204.

Campuzano, F. , McDonnel, L. and Lario, F.C. (2008). "Bullwhip effect consequences according to different supply chain management strategies: modelling and simulation". Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration 5 49-66.

Campuzano, F., Mula, J., & Peidro, D. (2010). Fuzzy estimations and system dynamics for improving supply chains. Fuzzy Sets and Systems, 161(11), 1530-1542.

- Campuzano, F. Guillamón, A. and Lisec. A. (2011). "Assessing the impact of prices fluctuation on demand distortion within a multiechelon supply chain". Promet Traffic&Transportation. In Press.
- Chaharsooghi SK., Faramarzi, H., Heydari, J. (2008). "A simulation study on the impact of forecasting methods on the bullwhip effect in the supply chain". IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore, 8–11 Dec. 2008, pp. 1875–1879
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. and D. Simchi-Levi, D.(2000b). "The impact of exponential smoothing forecasts on the bullwhip effect", Naval Research Logistics, vol. 47, pp. 269–286.
- 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. 153 pp. 727-750
- Forrester, J.: Industrial Dynamics, A Major Breakthrough for Decision Makers. Harvard Business Review, July-August, 1958, pp. 67-96
- Herrmann, E.(2010). "Kernel Regression Smoothing with Local or Global Plug-in Bandwidth. Lokern R package" (<http://cran.r-project.org/web/packages/lokern>)
- Hosoda, T. and Disney S. M., S.M.(2004). "An analysis of a three echelon supply chain model with minimum means squared error forecasting". Second World Production and Operations Management Conference, Cancun, Mexico, April 30 - May 3.
- Hyndman. R.J. and Billah. B. (2003). "Unmasking the Theta method". International J. Forecasting. 19. 287-290.
- Hyndman RJ (2008a). "Forecast: Forecasting Functions for Time Series. R package version 1.11", URL <http://CRAN.R-project.org/package=forecasting>.
- Kastsian, D., Monnigmann, M.(2011) Optimization of a vendor managed inventory supply chain with guaranteed stability and robustness, International Journal of Production Economics, Volume 131, Issue 2, Pages 727-735
- Mula J., Poler R., Garcia J.P., (2008) Capacity and material requirement planning modelling by comparing deterministic and fuzzy models. International Journal of Production Research, 46 5589-5606.
- Nadaraya. E.A. (1964). "On estimating regression". Theory and Probability of Its Applications 9: 141–142.
- Ouyang Y.(2007). The effect of information sharing on supply chain stability and the bullwhip effect. European Journal of Operational Research, Volume 182, Issue 3, Pages 1107-1121
- Sun, H. X. and Ren, Y. T. (2005). "The Impact of Forecasting Methods on Bullwhip Effect in Supply Chain Management". Engineering Management Conference.
- Ruppert, D., Sheather, S. J. and Wand. M. P. (1995). "An effective bandwidth selector for local least squares regression". Journal of the American Statistical Association. 90. 1257–1270.
- Watson, G.S. (1964). "Smooth regression analysis". Sankhya Series A 26: 359–372.
- Wright, D. and Yuan, X. (2008). "Mitigating the bullwhip effect by ordering policies and forecasting methods". International Journal of Production Economics 113, pp. 587– 597.
- Zhang, X. (2004). "The impact of forecasting methods on the bullwhip effect," International Journal of Production Economics, vol. 88,pp. 15-27.