

# PROGRAMA INTELIGENTE PARA DISMINUIR EL EFECTO BULLWHIP

David de la Fuente

[david@uniovi.es](mailto:david@uniovi.es) Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Oviedo,  
Campus de Viesques s/n 33204 Gijón España,

## Resumen

El objetivo de este trabajo, es describir como se diseña un programa mediante Inteligencia Artificial para disminuir el efecto Bullwhip, en una cadena de suministro. Comparado con el modelo 1-1, del Juego de la cerveza de Stermán(1989), se diseñan algoritmos genéticos que introducen inteligencia a la gestión de cada uno de los niveles de la cadena de suministro. El estudio del efecto Bullwhip ha sido una fructífera subárea de investigación en el estudio de la logística. La primera descripción formal del efecto Bullwhip, se atribuye a Forrester (1961) que posteriormente amplió Stermán (1989) con el famoso ejemplo del juego de la cerveza que se practica en muchas Escuelas de Negocios. En el trabajo se presentan la metodología multiagente para mitigar este efecto.

*Palabras clave: bullwhip, multiagents systems*

## 1. INTRODUCCIÓN

Una cadena de suministro incluye todos los participantes y procesos involucrados en satisfacer la demanda del consumidor: mayorista, minorista, almacenamiento, transporte, etc. Uno de los métodos clásicos para comprender el funcionamiento interno de esta cadena consiste en el tradicional juego de la cerveza creado por el MIT en los años 60. En él los participantes desempeñan el papel de cada uno de los miembros de la cadena (detallista, minorista, mayorista y fábrica) y deben coordinarse de forma que cada uno satisfaga con los menores gastos posibles la demanda del miembro previo en la cadena.

Trabajando en este juego, Stermán (1989) descubrió evidencias de un efecto ya ilustrado en su momento por Forrester (1961), en el cual la demanda inicial del consumidor era distorsionada y amplificada conforme se avanzaba a lo largo de la cadena. A esta amplificación de la demanda se la conoce como efecto Forrester o efecto Bullwhip o látigo.

Lee et al. (1997) analizaron la amplificación de la demanda desde el detallista a la fábrica estudiando matemáticamente como la variación de la demanda era amplificada cuando los pedidos se transmitían de uno a otro nivel y proporcionaron cuatro causas fundamentales por las que se producía este efecto:

- 1) Errores de demanda en las previsiones hechas por cada miembro.
- 2) Variaciones en los precios a causa de las promociones.

- 3) Política de racionamiento debido al miedo a la escasez.

4) Planificación de los pedidos o lotificación. Varias formas de paliar el efecto Bullwhip han sido examinadas por Wikner et al. (1992), van Ackere et al. (1993) y resumidas por Towill (1997). Las principales soluciones se basan en la compartición de algún tipo de información entre los miembros de la cadena de modo que se aumente la coordinación (Fiala, 2004). Las aproximaciones tradicionales para paliar este efecto son:

- Tecnologías de la información (Machuca y Barajas, 2004).
- ECR (Efficient Customer Response), QR (Quick Response) y EDLP (Every Day Low Prices).
- VMI o sea Vendor Managed Inventory (Holström, 1997).
- CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) que son planes y procesos de negocios desarrollados conjuntamente por los miembros de la cadena (Ji y Jang 2005).

En este problema juegan un papel muy importante las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) permitiendo un intercambio rápido y fluido de la misma, alcanzando altos niveles de interactividad. No obstante, todo este flujo de información añade un grado de complejidad más al problema, que en caso de ser mal manejado puede llegar a ser incluso contraproducente tal y como se afirma en Disney et al. (2002). La gran mayoría de los autores se han puesto de acuerdo en utilizar la siguiente expresión (1) como medida del efecto Bullwhip:

$$RV_{ORATE} = \frac{\sigma_{ORATE}^2}{\sigma_{CONS}^2} \quad (1)$$

Siendo  $\sigma_{CONS}^2$ , la varianza del consumidor inicial, y  $\sigma_{ORATE}^2$ , la varianza de la tasa de pedidos en el último eslabón de la cadena. También han sido muchos los autores que han reseñado que esta medida tan sólo permite medir la mitad del efecto, y que para un análisis más completo también debería estimarse el incremento que sufren los inventarios. Por tanto, una segunda medida del efecto bullwhip, complementaria a la anterior, sería la siguiente:

$$RV_{INVR} = \frac{\sigma_{INVR}^2}{\sigma_{CONS}^2} \quad (2)$$

Siendo  $\sigma_{INVR}^2$ , la varianza del inventario en el eslabón a analizar.

## 2. ANTECEDENTES DE SISTEMAS MULTIAGENTES EN LA CADENA DE SUMINISTRO.

Una revisión de diferentes aplicaciones de agentes inteligentes a la optimización de la cadena logística puede encontrarse en Mangina y Vlachos (2005), los cuales además proponen un sistema multiagentes que optimiza el desarrollo de una red logística de bebidas, planteando el cómo los productos pueden adquirir inteligencia para saber dirigirse a través de la red de distribución y cómo los agentes pueden ayudar a resolver problemas específicos como el efecto Bullwhip, la disminución de inventarios o la mejora de la coordinación de la cadena sin temor a compartir información. Dentro de la cadena de suministro nos encontramos múltiples estudios como por ejemplo Goel et al. (2005). Otros trabajos están orientados a modelar la competición entre entidades de una cadena de suministro. Raghu y Sadeh (2004). Otro trabajo en esa línea es el de Cheung et al. (2005) y los de Caridi et al. (2005); Allwood y Lee (2005). Un modelo denominado "Dynamic Analysis of

Supply Chains" fue presentado por Parunak (1999) y en esa línea Swaminathan (1998). En otros estudios como los de Moyaux (2003), se utiliza también un sistema multiagente para modelar el comportamiento de cada compañía, una extensión a este trabajo puede verse en Moyaux (2004). Cercanos se encuentran los trabajos de Wen-Yau Liang y Chun-Che Huang (2005). Otra aplicación de los algoritmos genéticos junto con agentes para el control de la cadena de suministro se puede ver en Kimbrough et al. (2002). Muchos de estos autores han desarrollado sus sistemas o usando el entorno de desarrollo JADE (<http://jade.tilab.com>) que facilita la comunicación e interacción entre agentes. Este entorno, basado en tecnología Java, permite la implementación de un sistema distribuido multiplataforma. Por estos motivos, hemos elegido esta tecnología para desarrollar nuestro modelo.

## 3. TRATAMIENTO DE SISTEMAS MULTIAGENTES EN EL EFECTO BULLWHIP

Como hemos visto el uso de agentes dentro del campo de la simulación y manejo de la cadena de suministro empieza a estar extendido, dando lugar, poco a poco, a aplicaciones cada vez más complejas y robustas.

En nuestro caso trataremos de descomponer el problema de las previsiones y coordinaciones de la cadena de suministro en un sistema MAS o multiagentes. Cada uno de los miembros de la cadena de suministro no estará dotado de un único agente, sino de un conjunto de ellos. Cada agente tendrá unas metas fijas que tratará de cumplir lo mejor que pueda dadas las condiciones de su entorno.

La Figura 1 muestra una visión global del sistema MAS del que dispondría cada uno de los miembros de la cadena, la visión detallada de este sistema puede verse en la Figura 2.

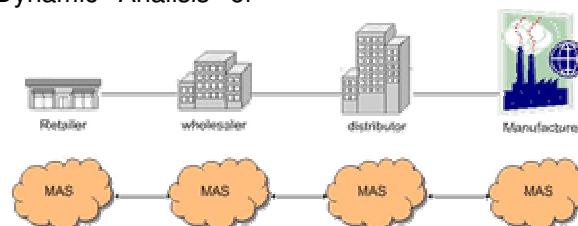


Fig. 1 - Sistema multiagente en cada miembro de la cadena

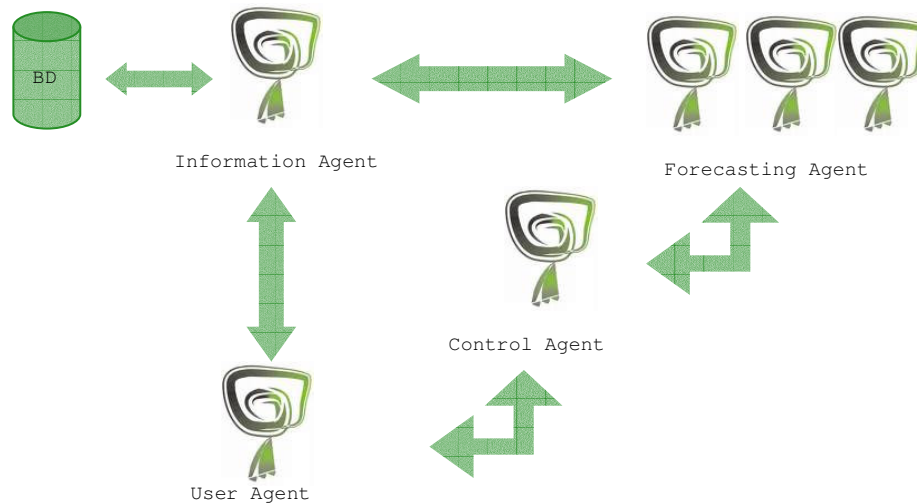


Fig. 2 - Detalle del MAS de cada eslabón

Como puede ver en esta figura, el sistema estará dotado de una base de datos (BD) en la cual se almacenará la información relevante de cada periodo: demanda (real), stock inicial/final, pedidos estimados por cada método, costes del periodo, método elegido, fecha, etc.

#### 4. VISIÓN GLOBAL DEL SISTEMA

A lo largo de este apartado trataremos de ver como es el proceso desde que a nuestro eslabón le llega un determinado número de unidades pedidas, hasta que coloca su pedido en el siguiente eslabón de la cadena. Imaginemos que a nuestro sistema le llega un pedido desde el miembro anterior. Dicho pedido será recibido por el agente de comunicación que inmediatamente se comunicará con el agente de usuario. Una vez el usuario tiene constancia del pedido entrante, este puede optar por declinar o aceptar el pedido. En el primero de los casos el miembro anterior deberá rehacer su planificación y reenviar una nueva orden de pedido.

En el segundo de los casos el agente usuario le pedirá al agente de información que guarde la demanda entrante en la base de datos. Además, el agente usuario se comunicará con los agentes de previsión solicitándoles que realicen sus previsiones para este nuevo periodo. Una vez finalizados sus cálculos, con las consultas a la base de datos necesarios, los agentes devolverán su previsión para el siguiente periodo y los costes medios de los periodos anteriores al agente de control, el cual decidirá que

método es el que debe ser considerado como bueno para este periodo. El agente de control se comunicará con el agente de información con objeto de guardar los datos relativos al método utilizado con la base de datos.

Una vez el agente usuario recibe el pedido óptimo del agente de control, y con la aprobación del usuario, se retransmite de nuevo hacia el siguiente miembro de la cadena por medio del agente de comunicación. Si este pedido es aceptado se guarda en la base de datos y el proceso finaliza. Si el siguiente miembro de la cadena de suministro no aprueba el pedido, se informa al usuario y se repiten de nuevo los cálculos informando al agente de control para que negocie una nueva previsión modificando alguno de los métodos existentes.

#### 5. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Se realizaron pruebas de previsión en 19 series temporales obtenidas de bases de datos utilizados habitualmente en previsión como las de Abraham (1983), Box-Jenkins (1976) y Reilly (1980). En la Tabla 1, se indica si la series son estacionarias o no y si son estacionales o no, así tenemos cuatro patrones que se han adaptado de Zhao et al. (2002) y que se han etiquetado con los siguientes nombres: ESES, NESES, ESNES y NESNES. La tabla 2, muestra el nombre el origen de la serie, con que esta relacionada el número de datos y el número de previsiones realizadas.

Si estacionaria	Si estacional	ESES (4)
No estacionaria	SI estacional	NESES (6)
Si estacionaria	No estacional	ESNES(1)
No estacionaria	No estacional	NESNES (8)

Tabla 1

SERIES	FUENTE	RELACIONADA CON	Nº datos	Nº de previsiones
AL03	Abraham (1983)	Consume de electricidad	106	12
AL04	Abraham (1983)	Venta de coches	108	13
AL09	Abraham (1983)	Hipoteca - Préstamo	159	9
AL011	Abraham (1983)	Consumo de Gas	106	11
AL12	Abraham (1983)	Demanda de Petróleo	192	12
BJ02	Box y Jenkins (1976)	Precio de las acciones de IBM	369	9
BJ06	Box y Jenkins (1976)	Manchas solares de Wolfer	100	11
BJ08	Box y Jenkins (1976)	Pasajeros de aerolínea	144	10
BJ15	Box y Jenkins (1976)	Ventas de un almacén	150	12
UN01	Reilly (1980)	Simulada	150	10
UN02	Reilly (1980)	Simulada	162	10
UN03	Reilly (1980)	Simulada	150	10
UN04	Reilly (1980)	Simulada	161	10
UN05	Reilly (1980)	Simulada	155	10
UN06	Reilly (1980)	Simulada	178	10
UN07	Reilly (1980)	Simulada	149	10
UN08	Reilly (1980)	Simulada	148	10
UN17	Reilly (1980)	Simulada	178	10
UN21	Reilly (1980)	Simulada	146	10

Tabla 2.

Las Figuras 8 y 9 son ejemplos de los gráficos de la serie BJ06 y BJ15, y en la tabla 3 los modelos.

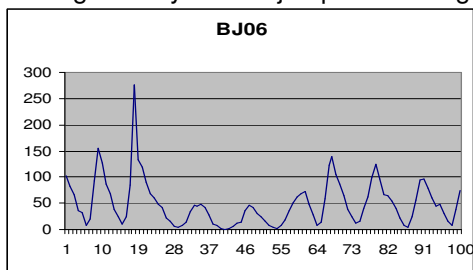


Figura 8.

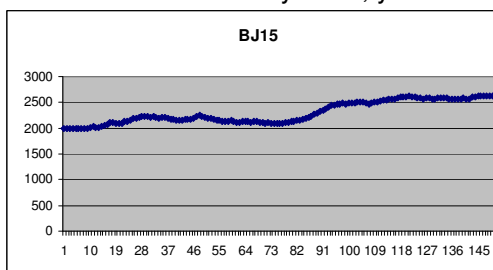


Figura 9.

SERIES	ESTACIONARIA	ESTACIONAL	TIPO
AL03	SI	SI	ESES
AL04	NO	SI	NESES
AL09	NO	NO	NESNES
AL011	SI	SI	ESES
AL12	NO	SI	NESES
BJ02	NO	NO	NESNES
BJ06	NO	NO	NESNES
BJ08	NO	SI	NESES
BJ15	NO	NO	NESNES
UN01	NO	SI	NESES
UN02	SI	SI	ESES
UN03	NO	NO	NESNES
UN04	SI	SI	ESES
UN05	NO	SI	NESES
UN06	NO	SI	NESES
UN07	NO	NO	NESNES
UN08	SI	NO	ESNES
UN17	NO	NO	NESNES
UN21	NO	NO	NESNES

Tabla 3. Tipos de Modelos

Los resultados obtenidos muestran que en la mayoría de los casos el mejor método utilizado es la Media Móvil Adaptativa. Aunque profundizando un poco más llegamos a que esta conclusión es lógica ya

que los otros métodos utilizados el 1-1 y la media móvil simple son casos particulares de este método. A continuación se muestran los resultados obtenidos para la serie AL03.

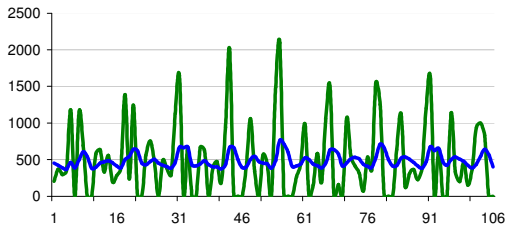


Figura 10: Resultados con Media Móvil (N = 7)

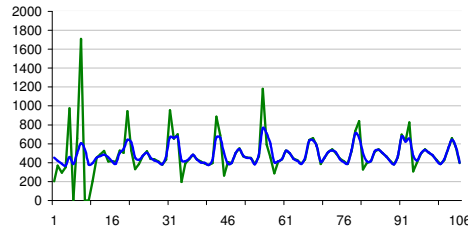


Figura 11: Resultados con Media Móvil Adaptativa

En la Tabla 4 se muestra un resumen de los resultados para esta serie AL03.

Metodo	Inventario Inicial	Variación de inventario en la Fábrica
1-1	500	471.178
Media Móvil N = 7	500	589.162
Media Móvil Adaptativa	500	60.605

N Optimo =103

Table 4

Serie	Método	Orate	Series	Método	Orate	Serie	Método	Orate
AL03	1-1	28,70	BJ15	1-1	<b>13,60</b>	UN08	1-1	<b>39,19</b>
	Mmovil N=5	28,70		Mmovil N=11	17,03		Mmovil N=39	170,78
	Adapt.	<b>5,34</b>		Adapt.	15,31		Adapt.	39,24
AL04	1-1	20,00	UN01	1-1	9,44	UN14	1-1	1,36
	Mmovil N=17	19,50		Mmovil N=7	8,34		Mmovil N=5	1,55
	Adapt.	<b>4,04</b>		Adapt.	<b>1,67</b>		Adapt.	<b>1,17</b>
AL09	1-1	20,89	UN02	1-1	47,16	UN17	1-1	1,74
	Mmovil N=3	20,89		Mmovil N=5	63,14		Mmovil N=17	<b>1,10</b>
	Adapt.	<b>4,80</b>		Adapt.	<b>3,97</b>		Adapt.	1,89
AL11	1-1	9,04	UN03	1-1	12,80	UN19	1-1	2,73
	Mmovil N=11	8,45		Mmovil N=3	17,49		Mmovil N=19	8,23
	Adapt.	<b>7,30</b>		Adapt.	<b>3,13</b>		Adapt.	<b>1,25</b>
AL12	1-1	11,75	UN04	1-1	677,42	UN21	1-1	47,42
	Mmovil N=13	17,46		Mmovil N=3	589,46		Mmovil N=13	<b>9,36</b>
	Adapt.	<b>2,41</b>		Adapt.	<b>189,15</b>		Adapt.	10,06
BJ02	1-1	4,73	UN05	1-1	87,82			
	Mmovil N=17	1,54		Mmovil N=15	68,00			
	Adapt.	<b>1,15</b>		Adapt.	<b>4,28</b>			
BJ06	1-1	10,24	UN06	1-1	27,39			
	Mmovil N=5	7,32		Mmovil N=15	12,43			
	Adaptive	<b>3,43</b>		Adaptive	<b>4,05</b>			
BJ08	1-1	13,76	UN07	1-1	16,03			
	Mmovil N=5	12,07		Mmovil N=15	14,48			
	Adapt.	<b>1,92</b>		Adapt.	<b>2,32</b>			

Tabla 5.

En la tabla 5, se presentan los resultados numéricos de las 21 series y en negrita el medidor "orate" de la formula (1). Merece la pena destacar que en las series que son muy

poco abrutadas y que tienen poca variabilidad el método de previsión de medias móviles adaptativas apenas mejora con respecto a los otros dos métodos y si en cambio en las

que son más aleatorias y con mucha variabilidad y en las que las diferencias entre valores próximos cambia más. En series más lineales el resto de los métodos 1-1 y media móvil pueden ser mejores que el adaptativo (caso de BJ15, UN08, UN17 y UN21) y teniendo en cuenta que la Media Móvil Adaptativa necesita una gran cantidad de cálculos, y si la naturaleza de la serie es conocida el resultado puede depender del criterio del error con que se mida. En conclusión, basado en los resultados numéricos y la definición de cada método, se puede aseverar que el mejor método de previsión es el de la Media Móvil Adaptativa en la mayoría de los casos.

## 7. CONCLUSIONES

Como hemos visto, el sistema multiagente aquí propuesto permite abordar el problema del efecto Bullwhip de una forma natural. Cada uno de los agentes que interviene tiene una función claramente definida (comunicación, previsión, etc.) dando lugar a una fácil escalabilidad de cada una de las partes. El sistema permite abordar nuevos métodos de previsión de forma sencilla mediante la inclusión de nuevos agentes al subsistema de previsión. Con este simple esquema puede abordarse la mayor parte de los métodos habituales para paliar el efecto Bullwhip, desde previsiones avanzadas hasta compartición de información desde el cliente. Además se está realizando investigación con objeto de extender este sistema a cadenas de suministro más generales en las que cada nivel pueda estar representado por varios miembros y a su vez puedan existir varios tipos de productos.

## REFERENCIAS

Allwood J.M., Lee J.H., 2005. The design of an agent for modelling supply chain network dynamics. *International Journal of Production Research*, 43, 4875-4898.

Caridi M., Cigolini R., De Marco D., 2005. Improving supply-chain collaboration by linking intelligent agents to CPFR. *International Journal of Production Research*, 43, 4191-4218.

Disney S. M., Grubbstrom R. W., 2004. Economic consequences of a production and inventory control policy. *International Journal of Production Research*, 42 (17) 3419-3431.

Disney S. M., Towill D. R., 2003. The effect of Vendor Managed Inventory (VMI) dynamics

on the Bullwhip effect in supply chain. *International Journal of Production Economics*, 85 199-215.

Disney S. M., Towill D. R., 2002. Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chain. *International Journal of Production Economics*, 78 133-144. <http://jade.tilab.com>.

Ji, Y.F., Yang, H.L., 2005. Bullwhip effect elimination in supply chain with CPFR. *Proceedings of the 2005 International Conference On Management Science & Engineering*, 1- 3, 737-740.

Kimbrough S. O., Wu D. J., Zhong F., 2002. Computer the beer game: can artificial manage supply chains? *Decision Support Systems*, 33 323-333.

Mangina E., Vlachos I. P. The changing role of information technology in food and beverage logistics management: beverage network optimisation using intelligent agent technology. *Journal of Food Engineering in press*.

Sheremetov, L.B., Contreras, M. and Valencia, C., 2004. Intelligent multi-agent support for the contingency management system. *Expert Systems with Applications*, 26, 57-71.

Sterman J. D., 1989. Modeling Managerial Behavior Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment, *Management Sct*, 35 (3), 321-339.

Sterman, J. D., 1995. The beer distribution game. In: J. Heineke and L. Meile, Editors, *Games and exercises for operations management*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 101-112.

Swaminathan, J.M., Smith, S.F. and Sadeh, N.M., 1996. A Multi-Agent Framework for Supply Chain Dynamics. In *Proceedings of NSF Research Planning Workshop on AI & Manufacturing*, Albuquerque, NM.

VICS, 2000. CPFR Guidelines. Voluntary Inter-Industry Commerce Standards, available at <http://www.cpfr.org>.

Ying, W., Dayong, S., 2005. Multi-agent framework for third party logistics in E-commerce. *Expert Systems with Applications*, 29 (2), 431-436.

Zhao X., Xie J., Leung J., 2002. The impact of forecasting model selection on the value of information sharing in a supply chain. *EJOR* 142, 321-344.