

Influencia de la variabilidad de los Tiempos de Entrega en los Costes de la Cadena de Suministro. Análisis de su repercusión en el 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

Palabras Clave: Efecto Bullwhip, Dinámica de Sistemas, Costes de Inventario, Costes de Transporte, Costes de Stockout

1. Introducción

La extrema competitividad que existe en la economía actual, unida a los efectos de la globalización, obligan a la industria a encontrar nuevas vías para interactuar y satisfacer a los clientes. En una Cadena de Suministro, los fabricantes, intermediarios comerciales, transportistas, proveedores y organismos oficiales colaboran 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 y optimizar el time to market.

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. 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 amplificación de la varianza en la demanda de productos que la combinación de estos 4 elementos produce, amplificación que va aumentando según nos separamos del consumidor final y nos adentramos en la Cadena de Suministro, se le denomina **efecto Bullwhip**. **En esta comunicación se analiza**, utilizando el modelo dinámico de simulación para la gestión de demanda de cadenas de suministro multinivel propuesto por Campuzano (2006), **el efecto que produce la fluctuación de los tiempos de suministro debidos al transporte, (tiempos de entrega), en la distorsión de las órdenes de reabastecimiento/fabricación generadas por cada uno de los integrantes de una cadena de suministro tradicional** (formada por

* Trabajo derivado de la investigación realizada en el marco del proyecto Evolution, DPI 2007-65501 financiado por el MEC y por el Vicerrectorado de Investigación de la UPV (PAID-05-08) www.cigip.upv.es/evolution..

fabricante, mayorista, minorista, y cliente final) y la influencia de dicha distorsión en el nivel de servicio y los costes de inventario y transporte de la cadena modelada.

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.

2.1 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). 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 elementos considerados para llevar a cabo el diagrama causal de la Cadena de Suministro elegida, y en base al modelo APIOBPCS ya se han comentado en anteriores trabajos de Campuzano et al (2009). A continuación, y por motivos de espacio, sólo se detallan las variables que se considera de mayor relevancia para el diseño del presente estudio:

a) Las ordenes de reabastecimiento (nivel de Minorista y Mayorista). La política de control de inventario utilizada en este trabajo es la **Order up to level S**. 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 . Así la orden de reabastecimiento será (1):

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

Las órdenes de reabastecimiento resultantes de la expresión anterior una vez lanzadas se analizan y dependiendo de su tamaño se lotifican, a fin de eliminar pedidos con unidades insignificantes, aunque esto traiga consigo en mayor o menor medida, y según como se ha dicho más arriba, una amplificación del efecto Bullwhip. El tiempo de suministro utilizado en el caso de que éste sea aleatorio, será la media de los tiempos de suministro recibidos en cada periodo desde el proveedor situado aguas arriba del nivel que realice la orden de reabastecimiento cuando ésta sea necesaria.

b) El tiempo de suministro (Mayorista y Fabricante). Para este estudio se han utilizado tiempos de Suministro Variables constantes y aleatorios. Las características de los mismos se detallan en el apartado 3.1.1.

c) Costes de Inventario (almacenamiento y pedido tanto para Minorista, Mayorista y Fabricante), stockout (generados por no servir a tiempo un pedido) y transporte. Las características de los mismos se detallan en el apartado 3.1.2.

3. Diseño del experimento

La simulación de la Cadena de Suministro Tradicional multinivel se ha realizado sobre el modelo desarrollado por Campuzano (2006) y simulado en entorno **Vensim PLE** © durante un periodo de 600 días (suficiente para que el modelo se estabilice).

3.1. Parámetros del modelo:

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

- La **demanda del cliente final** sigue una distribución normal de media 20 unidades.
- El **nivel de Inventario inicial** para todos los niveles es de 100 unidades.
- La **capacidad del fabricante** es de 160 unidades diarias, suficientes, para que teniendo en cuenta el patrón de demanda utilizado no se produzcan retrasos en el proceso productivo que influyan en este estudio.
- El modelo incluye **patrones de tiempo de suministro determinista y aleatorio** para las entregas desde el fabricante al mayorista y desde el mayorista al minorista respectivamente.
- 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** que realiza cada nivel es igual a 2 $\alpha=0.5$
- **Costes de Almacenamiento pedido y stockout**: 0,5 € por cada unidad de producto almacenada y por pedido realizado. Cada unidad de producto no servida a tiempo supondrá un coste de 1 €.
- Los **Costes de Transporte** han sido tarificados, al utilizarse en la simulación tiempos de Suministro aleatorios, en función del tiempo que tarda en recibirse un pedido tras lanzarse la correspondiente orden de reabastecimiento.

3.1.1 Tiempos de suministro

Para esta comunicación se han simulado diferentes escenarios, cuyas características en cuanto a los tiempos de suministro para cada nivel son las siguientes:

- Tiempos de suministro aleatorios centrados en 5 periodos para los envíos fabricante-mayorista y centrados en 3 periodos para los envíos mayorista-minorista.
- Tiempos de suministro aleatorios centrados en 3 periodos para los envíos fabricante-mayorista y centrados en 5 periodos para los envíos mayorista-minorista.
- Tiempos de suministro aleatorios centrados en 3 periodos para los envíos fabricante-mayorista y centrados en 3 periodos para los envíos mayorista-minorista.
- Tiempos de suministro fijos para las tres situaciones mencionadas anteriormente.

Para cada una de las posibles situaciones se generaron 10 series utilizando tiempos de suministro centrados en 3 y 5 unidades de tiempo, con una cierta asimetría hacia la derecha con el fin de dar mayor frecuencia a los posibles retrasos frente a los anticipos con respecto al patrón fijo (coeficiente de asimetría de 0.2 y 0.01), con una dispersión pequeña (rango intercuartílico de 1.5 y 2 respectivamente) que permiten caracterizar tiempos de envío variables entre 2 y 5 unidades de tiempo en el primero de los casos y entre 3 y 8 en el segundo.

Las siguientes figuras resumen las características más relevantes de los patrones utilizados para los tiempos de suministro.

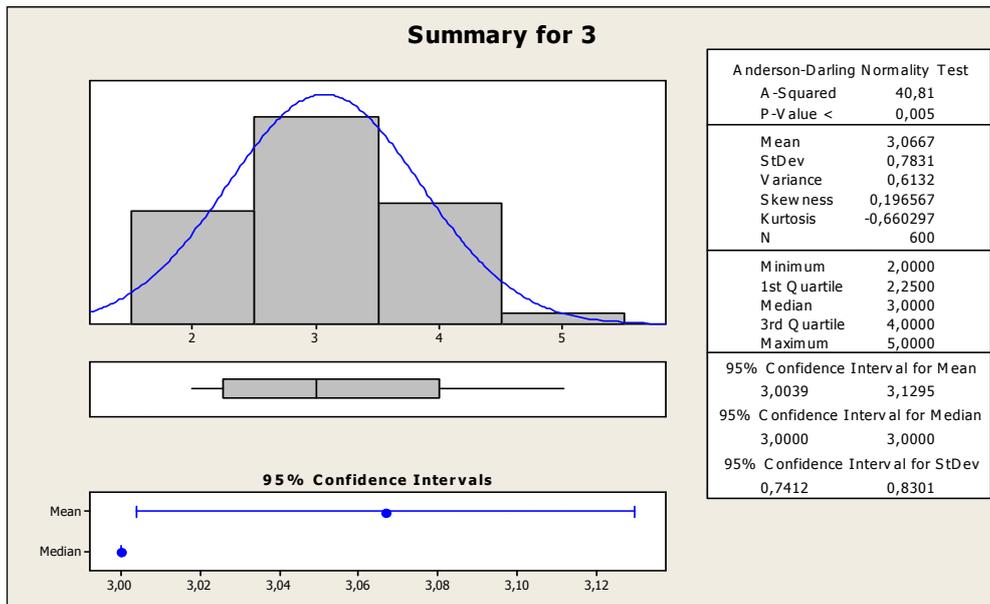


Figura 1: Resumen de los estadísticos descriptivos más significativos asociados a los tiempos de suministro aleatorios de promedio 3.

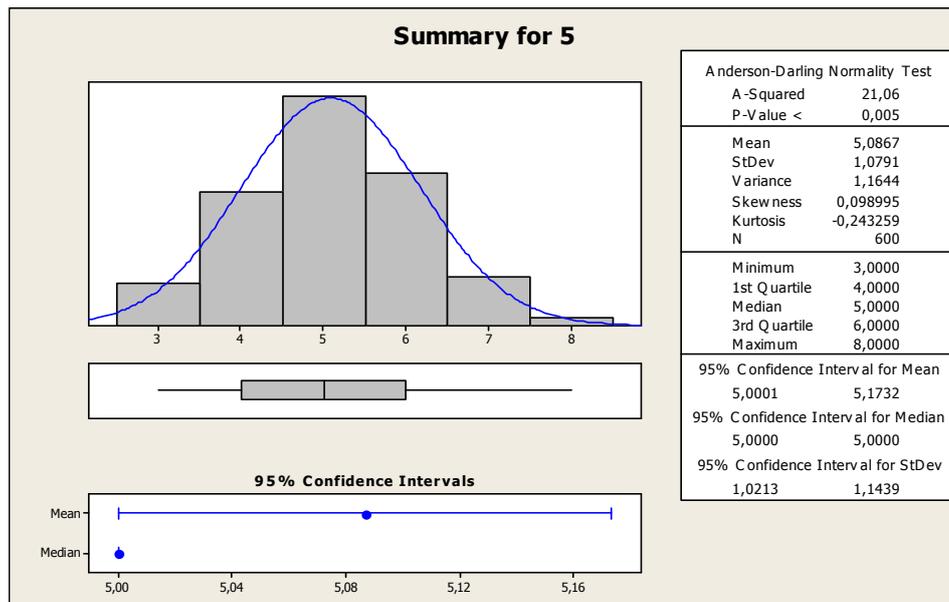


Figura 2: Resumen de los estadísticos descriptivos más significativos asociados a los tiempos de suministro aleatorios de promedio 5.

En los siguientes gráficos se muestran los tiempos de suministro empleados en las distintas simulaciones:

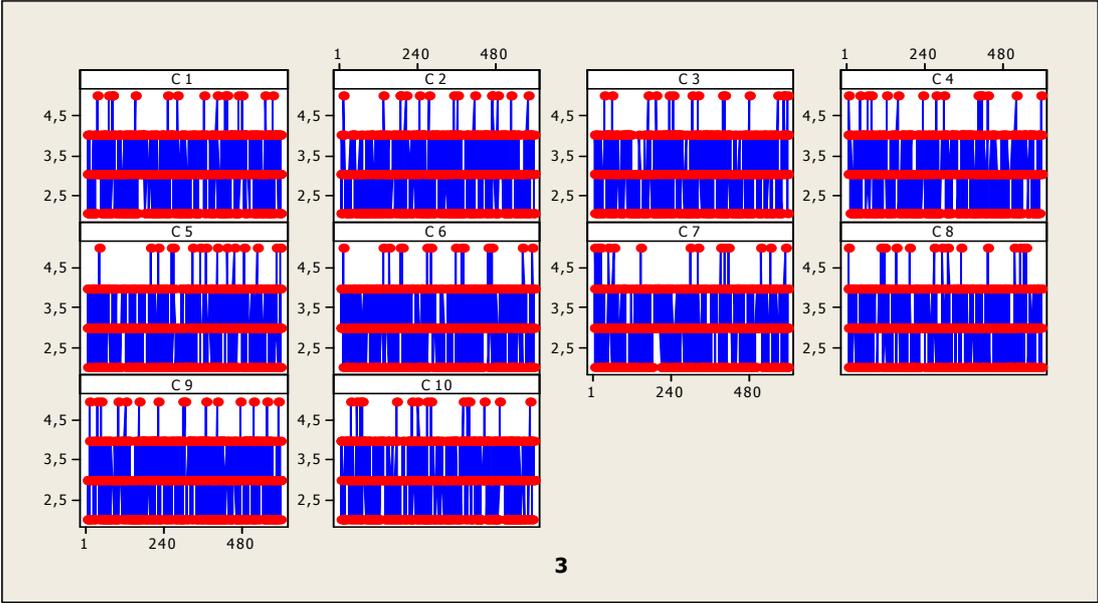


Figura 3: Series de tiempos de suministro de promedio 3 utilizadas en la simulación.

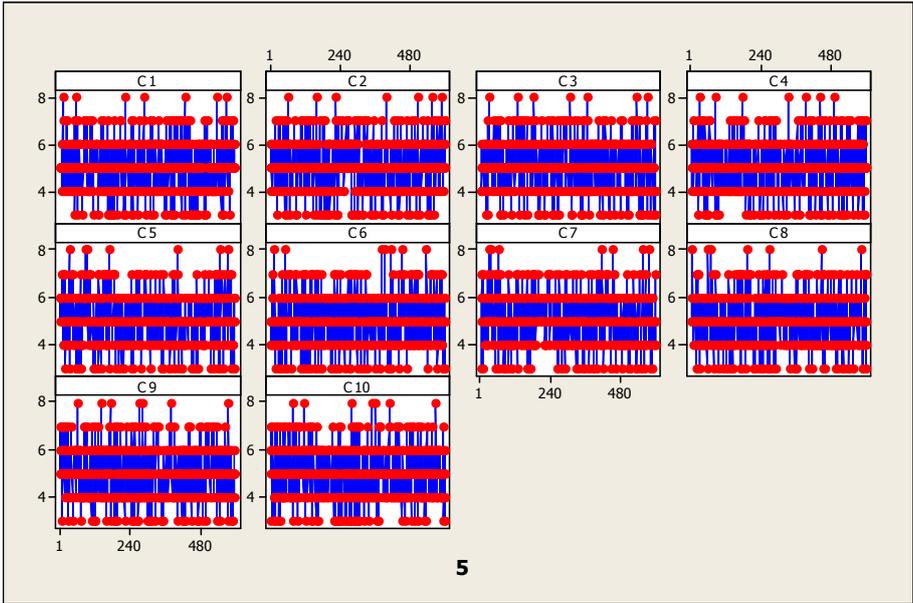


Figura 4: Series de tiempos de suministro de promedio 5 utilizadas en la simulación.

3.1.2 Costes de Transporte.

Al utilizarse en la simulación tiempos de Suministro aleatorios los costes de Transporte de Minorista y Mayorista se tarifican de mayor a menor coste en función del tiempo que tarda en recibirse un pedido tras lanzarse la correspondiente orden de reabastecimiento. El coste de transporte total lo constituye la tarifa multiplicada por el número de unidades transportadas. Las tarifas utilizadas vienen reflejadas en la siguiente tabla:

TIEMPOS DE SUMISTRO	TARIFAS
2	1.6
3	1.4
4	1.2
5	1
6	0.9
7	0.8
8	0.7

Tabla 1. Tarifas Costes de Transporte de promedio 5 y 3 (este último sombreado).

3.2. Variables objeto de estudio.

Las variables analizadas para cada uno de los niveles de la cadena de suministro tradicional modelada fueron:

- Bullwhip
- Costes almacén
- Nivel de servicio
- Costes pedido
- Costes transporte
- Costes stock-out
- Coste total

4. Análisis de resultados.

El objetivo de este análisis es en primer lugar determinar qué variables se ven más afectadas por la utilización de tiempos de suministro aleatorios(en contraste con los tiempos de suministro fijos), y seguidamente, buscar el escenario más favorable, entre los analizados, cuando se utilizan tiempos de suministro aleatorios. Dichos escenarios fueron:

- **3_3**: Tiempos de suministro entre fabricante-mayorista de 3 unidades de tiempo y tiempo de suministro entre mayorista-minorista de 3 unidades de tiempo.
- **3_5**: Tiempos de suministro entre fabricante-mayorista de 3 unidades de tiempo y tiempo de suministro entre mayorista-minorista de 5 unidades de tiempo.
- **5_3**: Tiempos de suministro entre fabricante-mayorista de 5 unidades de tiempo y tiempo de suministro entre mayorista-minorista de 3 unidades de tiempo.

Los contrastes planteados para el análisis de los resultados, basados en la distribución t-Student, son de dos tipos:

- Por un lado se pretende determinar qué variables se ven afectadas de manera significativa por la aleatoriedad de los tiempos de suministro, para ello contrastamos las hipótesis de que los resultados promedio obtenidos sobre las simulaciones en estos casos son peores (significativamente) que los resultados obtenidos con tiempos de suministro fijos.
- Considerando las tres combinaciones posibles de tiempos aleatorios 3_3, 3_5 y 5_3, buscamos si existen diferencias significativas en comparaciones por pares.

De acuerdo con lo expuesto por Chen et al (2000), se propone como ratio para medir el efecto Bullwhip, la varianza las ordenes de reabastecimiento respecto de la varianza de la demanda del cliente final.

4.1. Tiempos de suministro aleatorios vs. tiempos de suministro fijos.

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos, destacando (con * o **) aquellos contrastes que resultaron significativos en cada uno de los niveles de la cadena.

	3_3		3_5		5_3	
	Aleat.	Cte	Aleat.	Cte	Aleat.	Cte
Bullwhip	15,07(*)	12.07	15,88(*)	14.15	15,29(*)	12.31
Costes pedido	146	158,5	140,5	146	145,1	157,5
Costes Stockout	124	42(*)	86,8	35(*)	126	44(*)
Coste Almacén	5927	5582	6819	7374	6285	5800
Coste Transp	10944,4	11038,7(*)	8122,5	7861,9(*)	10956,2	11038(*)
Coste Total	17141	16821,3	15169	15416,8	17512	17040
Nivel. Serv.	86,1	96,3(*)	89,95	96,5(*)	85,8	96,1(*)

(*) Significativo a nivel 0,05

(**) Significativo a nivel 0,01

Tabla 2: Resultados promedio obtenidos sobre cada variable para el nivel del Minorista.

	3_3		3_5		5_3	
	Aleat.	Cte	Aleat.	Cte	Aleat.	Cte
Bullwhip	33,01	33,51(*)	35,33	30,63 (*)	56,9	49,97
Costes pedido	97,8	103	95,6	102	75,5	89,5
Costes Stockout	6	11	4	2(**)	8,7	9
Coste Almacén	22845	22874	23274	21042(*)	37197	38487
Coste Transp	10568,6(*)	11074	10600,4(*)	11172	8200,6	7850(*)
Coste Total	33518	34061	33974	32318	45482	4644
Nivel. Serv.	99,36	99,69(*)	99,58	99,83(**)	98,86	98,72

(*) Significativo a nivel 0,05

(**) Significativo a nivel 0,01

Tabla 3: Resultados promedio obtenidos sobre cada variable para el nivel del Mayorista

	3_3		3_5		5_3	
	Aleat.	Cte	Aleat.	Cte	Aleat.	Cte
Bullwhip	57,82	53,93	62,75	52,49(*)	84,37	77.16
Costes pedido	73,5	80,5	69,95	75	57,3	68
Costes Stockout	9	8	11,9	15	12,2	13
Coste Almacén	33987	36245	34125	30376(*)	50682	51925
Coste Total	34070	36333,5	34221	30465(*)	50763	52006
Nivel. Serv.	99.06	99,21(*)	98,82	98,55	98,63	98,46

(*) Significativo a nivel 0,05

(**) Significativo a nivel 0,01

Tabla 4: Resultados promedio obtenidos sobre cada variable para el nivel del Fabricante

A partir de los resultados obtenidos, podemos deducir que para los escenarios simulados la aleatoriedad en los tiempos de suministro no produce efectos significativos sobre todas las variables estudiadas en los diferentes niveles modelados.

4.2. Comparación entre tiempos de suministro aleatorios. Elección del mejor escenario

Las siguientes tablas muestran los resultados promedio obtenidos sobre cada variable en las diferentes situaciones objeto de estudio, destacando aquellas que resultan significativas en cada caso.

	3_3	3_5	3_3	5_3	3_5	5_3
Bullwhip	15,07	15,88	15,07	15,29	15,88	15,29
Costes pedido	146	140,5	146	145,1	140,5	145,1
Costes Stockout	124	86,8(*)	124	126	86,8	126(*)
Coste Almacén	5927	6819	5927	6285	6819	6285
Coste Transp	10944,4	8122,5(*)	10944,4	10956,2	8122,5	10956,2(*)
Coste Total	17141	15169	17141	17512	15169	171512(**)
Nivel. Serv.	86,1	89,95	86,1	85,8	89,95	85,8

(*) Significativo a nivel 0,05

(**) Significativo a nivel 0,01

Tabla 5: Resultados promedio obtenidos sobre cada variable para el nivel del Minorista

	3_3	3_5	3_3	5_3	3_5	5_3
Bullwhip	33,01	35,33	33,01	56,9 (*)	35,33	56,09(*)
Costes pedido	97,8	95,6	97,8	75,5(*)	95,6	75,5(*)
Costes Stockout	6	4	6	8,7	4	8,3(*)
Coste Almacén	22845	23274	22845	37197(*)	23274	37197(*)
Coste Transp	10568,6	10600,4	10568,6	8200,6(*)	10600,4	8200,6(*)
Coste Total	33518	33974	33518	45482(*)	33974	45482(*)
Nivel. Serv.	99,36	99,58	99,35	98,86(*)	99,58	98,86(*)

(*) Significativo a nivel 0,05

(**) Significativo a nivel 0,01

Tabla 6: Resultados promedio obtenidos sobre cada variable para el nivel del Mayorista

	3_3	3_5	3_3	5_3	3_5	5_3
Bullwhip	57,82	62,75	57,82	84,4(*)	62,75	84,4(*)
Costes pedido	73,5	69,95	73,5	57,3(*)	69,95	57,3(*)
Costes Stockout	9	11,9(*)	9	12,2(*)	11,9	12,2
Coste Almacén	33978	34125	33987	50682(*)	34125	50682(*)
Coste Total	34070	34221	34070	50763(*)	34221	50763(*)
Nivel. Serv.	99,06	98,82(*)	99,06	98,63(*)	98,82	98,63

(*) Significativo a nivel 0,05

(**) Significativo a nivel 0,01

Tabla 7: Resultados promedio obtenidos sobre cada variable para el nivel del Fabricante

La siguiente tabla muestra los mejores resultados obtenidos en cada nivel modelado para los tres escenarios simulados, y sobre cada una de las variables objeto de estudio:

	Minorista	Mayorista	Fabricante
Bullwhip	3_3 (15,07)	3_3 (33,01)	3_3 (57,82)
Costes pedido	3_5 (140,5)	5_3 (75,5)(*)	5_3 (57,3)(*)
Costes Stockout	3_5(86,8)(*)	3_5 (4)	3_3 (9)(*)
Coste Almacén	3_3 (5927)	3_3 (22845)(*)	3_3 (33987)
Coste Transp	3_5 (8122,5)(*)	5_3 (8200,6) (*)	
Coste Total	3_5 (15169)	3_3 (33518)	3_3 (34070)
Nivel. Serv.	3_3 (86,1)	3_5 (99,58))	3_3 (99,06)

(*) Significativo a nivel 0,05

(**) Significativo a nivel 0,01

Tabla 8: Resumen de los mejores resultados promedio obtenidos para cada nivel en cada escenario

Como era de esperar los resultados obtenidos con 3_3 son mejores que los restantes, ahora bien, tanto los patrones 3_5 como 5_3 tienen un tiempo total promedio de 8 unidades de tiempo, por tanto resulta interesante plantearse si una de las opciones es siempre la idónea teniendo en consideración las distintas variables de la cadena de suministro. La siguiente tabla muestra un resumen de los mejores resultados obtenidos para cada uno de los niveles en los escenarios con tiempos de suministro aleatorios 3_5 y 5_3:

	Minorista	Mayorista	Fabricante
Bullwhip	5_3 (15,29)	3_5 (35,33)(*)	3_5 (62,75)(*)
Costes pedido	3_5 (140,5)	5_3 (75,5)(*)	5_3 (57,3)(*)
Costes Stockout	3_5 (86,8)(*)	3_5 (4)	3_5 (11,9)
Coste Almacén	5_3 (6285)	3_5 (23274)(*)	3_5 (34125)
Coste Transp	3_5 (8122,5)(*)	5_3 (8200,6)(*)	
Coste Total	3_5 (15169)(*)	3_5 (33974)(*)	3_5 (34221)(*)
Nivel. Serv.	3_5 (89,95)	3_5 (99,58)(*)	3_5 (98,63)

(*) Significativo a nivel 0,05

(**) Significativo a nivel 0,01

Tabla 9: Resumen de los mejores resultados promedio obtenidos para cada nivel en los escenarios 3_5 y 5_3

5. Conclusiones.

Del anterior estudio se desprende que solo ciertas variables de las estudiadas, importantes en la gestión de la cadena de suministro, sufren peores cambios significativos al utilizarse tiempos de suministro aleatorios. La siguiente tabla muestra como conclusión, qué variables sufren dichas modificaciones:

	Minorista	Mayorista	Fabricante
Aleatoriedad	<ul style="list-style-type: none"> • Bullwhip. • Costes de stockout. • Costes de transporte. • Nivel de servicio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bullwhip. • Costes de transporte. • Costes totales. • Nivel de servicio. 	

Tabla 10: Resumen de las variables estudiadas que sufren peores cambios significativos al utilizar aleatoriedad en los tiempos de suministro

Resulta importante destacar, que en el caso de los costes de pedido, éstos siempre resultan superiores, en el caso de tiempos de suministro fijos, al promedio de los resultados obtenidos con tiempos aleatorios, aunque esa diferencia no resulte significativa. Esto se debe a que a causa de la aleatoriedad de los tiempos de suministro existen periodos en los que se realizan pedidos de un mayor volumen y por consiguiente se consiguen inventarios de mayor volumen, lo que reduce la necesidad de pedidos frecuentes. En el nivel del fabricante existen cambios en las variables elegidas para el análisis, aunque dichos cambios no llegan a ser significativos. Una de las causas es que el tiempo de fabricación fijado en dicho nivel para cada uno de los escenarios modelados (con tiempos de suministro fijos y aleatorios) es constante y del mismo valor, lo que implica que aunque las órdenes lanzadas por el fabricante en los diferentes escenarios sean diferentes, los cambios en las variables analizadas no sean significativos ya que éstas dependen directamente de dichas órdenes generadas.

1. Atendiendo a los resultados obtenidos al realizar la comparación por pares de tiempos aleatorios, parece razonable afirmar que la opción 3_5 (tiempos de suministro aleatorios entre fabricante-mayorista de 3 unidades de tiempo promedio y tiempo de suministro entre mayorista-minorista de 5 unidades de tiempo promedio) resulta más recomendable que la opción 5_3 (tiempos de suministro aleatorios entre fabricante-mayorista de 3 unidades de tiempo promedio y tiempo de suministro entre mayorista-minorista de 5 unidades de tiempo promedio) ya que, si bien no resulta mejor opción en todas las situaciones, se

tiene: A nivel de minorista la opción 3_5 resulta significativamente mejor que 5_3 en Bullwhip, costes de pedido, costes Stockout, costes de transporte, coste total, mientras que en las restantes variables no existen diferencias significativas entre ambas opciones.

2. A nivel de mayorista si bien la opción 5_3 se beneficia de las mejoras en la tarifa de transporte dando resultados significativamente mejores en costes de pedido y costes de transporte, la opción 3_5 resulta significativamente mejor que 5_3 en Bullwhip, costes de almacén, coste total y nivel de servicio, no existiendo diferencias significativas entre las restantes variables.
3. A nivel de fabricante la opción 5_3 proporciona resultados significativamente mejores en costes de pedido mientras que la opción 3_5 resulta significativamente mejor en Bullwhip y coste total, en las demás variables la opción 3_5 proporciona mejores resultados promedio aunque no resulta significativa dicha mejora.

Los resultados obtenidos no son extrapolables a todos los casos que se desee considerar, pero nos pueden dar una idea de los efectos perniciosos que para la gestión de la cadena tiene la aleatoriedad en los tiempos de suministro. El uso de estrategias colaborativas puede reducir dichos efectos. La herramienta utilizada se muestra eficaz a nivel táctico para simular diferentes escenarios que ayuden al investigador y/o responsable a elegir la opción más ventajosa.

Referencias

Campuzano, F. (2006) “Modelo de Gestión de la Variabilidad de la Demanda en la Cadena de Suministro. Análisis del Efecto Bullwhip”. Valencia 2006. Premio CEL 2007

Campuzano Bolarín, F., Guillamón Frutos, A., Cruz Lario Esteban, F., Ros McDonnell, L.(2009) Influencia de la fluctuación de los precios en el efecto Bullwhip. Caso de Patrón de demanda final escalonado. Revista Dirección y Organización 37,pp-36-44. UPM

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.

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), pp.93–102.

Sterman, J. D. (2000) ‘Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World’, NY: McGraw-Hill Higher Education.