

## Modelización del Efecto Bullwhip en la Gestión de las Cadenas de Suministro Directa e Inversa \*

Lorenzo Ros, Francisco Campuzano, M<sup>a</sup> Victoria de la Fuente

Área de Organización de Empresas. ETSII-Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar, 30.202 Cartagena, Murcia. [lorenzo.ros@upct.es](mailto:lorenzo.ros@upct.es), [francisco.campuzano@upct.es](mailto:francisco.campuzano@upct.es), [marivi.fuente@upct.es](mailto:marivi.fuente@upct.es)

### Resumen

*Analizando la Cadena de Suministro, los distintos niveles existentes en la misma, así como las empresas participantes y el papel que cada una de ellas participa en el conjunto global de la citada Cadena, se puede ver que un pequeño cambio en el patrón de **demanda** de un cliente se **magnifica** conforme fluye a través de los procesos de distribución, producción y aprovisionamiento. En cada etapa, la desviación se amplifica. Este efecto fue identificado y estudiado por Burbidge(1991) y Forrester(1958) y es conocido como el **Efecto Forrester**.*

*Los autores Lee , Padmanabhan y Whang (1997a) denominan a este efecto de amplificación de la demanda como “efecto Bullwhip” el cual describe como la “erosión” (llamado a si por la pérdida de calidad de la misma) de la información , la ausencia de transparencia a través de toda la cadena de suministro y la desconexión entre producción y la información en tiempo real sobre el suministro de productos (materias primas, o terminados ) resulta en una pérdida de ingresos , descenso en el nivel del servicio al cliente , altos niveles de inventario y baja calidad de los productos terminados . Esta comunicación presenta el diseño de un Modelo que permita balancear el nivel de Inventario y el nivel de Servicio al Cliente, teniendo en cuenta las restricciones de Capacidad de la empresa.*

**Palabras clave:** Efecto Bullwhip, Cadena Suministro, Modelo Capacidad, Nivel Servicio.

### 1. Introducción

A partir de la experiencia en la Modelización de las Cadenas de Suministro, tanto para la Gestión de Materiales como de Información, en sentido directo e inverso se plantea el estudio del *efecto Bullwhip* en la Cadena de Suministro desde el enfoque de Producción. El análisis de la información recibida en este punto de la Cadena (Fabricante) conduce a la correcta gestión de los recursos: material, maquinaria, RRHH, información y la asignación de los recursos pertinentes en el resto de miembros de la Cadena.

En la presente comunicación se propone que tanto la producción para Inventarios como la adaptación de la producción a la Demanda, eliminando en lo posible el efecto Bullwhip, induce a trabajar en modo “*agile supply*” para cumplir con los niveles de satisfacción fijados en la Cadena de Suministro. Para ello es necesario realizar el *análisis de la Capacidad de producción existente* en la empresa (exceso de capacidad, minimizando la eficiencia de los procesos, o escasez de capacidad, obligando a externalizar operaciones y tareas), estudiando cómo afecta el efecto Bullwhip a la necesidad y ajuste de la capacidad existente, proponiendo diversas soluciones.

---

\* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en el proyecto de investigación financiado por la Fundación Séneca con referencia PI-71-00880-FS-01, titulado “Desarrollo de Metodología para la Aplicación de Ingeniería Inversa a las Unidades de Negocio Empresarial (ERE)”.

El Trabajo, objeto de esta Comunicación, se centró en el análisis del efecto Bullwhip, su repercusión en la Cadena de Suministro, las consecuencias que tiene en las empresas medianas y pequeñas, y cómo afectan a las decisiones implicadas en su funcionamiento diario: decisiones de Producción, Compras, Ventas, Demanda, Capacidad (maquinaria, RRHH), Materiales, Almacenes (stocks, capacidad, ubicaciones) y Logística (transportes, volúmenes, .....).

En la Gestión de toda Cadena de Suministro, en la que está implicada la gestión de los flujos monetarios, de productos o servicios y de información, en y entre los miembros integrantes de la Cadena con el fin de maximizar el valor del producto entregado al consumidor final, y sujeto a la disminución de los costes de la organización.

## 2. Antecedentes

El éxito de la Gestión de la Cadena de Suministro depende de la Información clara y fiable que fluye en toda la Cadena (Mason-Jones, 1997; Chen, 2000), información que en realidad no es tan fiable como se desearía. Si se analiza la fluctuación de la demanda de pedidos que existe en una Cadena de Suministro tradicional (Proveedores, Fabricantes, Mayoristas, Minoristas y Consumidores finales) se puede observar la *variación incremental* conforme avanzan las Órdenes de Pedidos desde el Cliente hacia el Proveedor (Forrester, 1961; Lee, 1997a; McCullen, 2002). Y mientras que las Ventas siguen un patrón con una pequeña desviación respecto de la media, la desviación de la demanda en los pedidos del Mayorista al Fabricante o del Fabricante al Proveedor ocasionan exceso de Inventario en los almacenes de éstos, con el consiguiente aumento de los costes.

Lo que ocurre en la Cadena de Suministro, es lo que Forrester y Lee (Forrester, 1961), en los años 50-60, denominaron *efecto látigo*, que provoca que la *demanda nunca se ajuste a la oferta*. Efecto que a su vez se ve amplificado por diferentes causas: incentivos en las ventas, precios, los procesos de información, elementos operacionales y el comportamiento humano.

También se debe tener en cuenta que la distorsión de la Demanda respecto de las Ventas (Lee, 1997), debido al *efecto Forrester*, se amplifica aún mas debido a otros efectos: Lotificación de pedidos o *Efecto Burbidge* (Burbidge, 1984; Burbidge, 1991), fluctuación de los precios de los productos (Promociones en las ventas), y el racionamiento y escasez de productos terminados o *efecto Houlihan* (Houlihan, 1987). La amplificación de la demanda de productos que la combinación de estos cuatro elementos produce a medida que se avanza aguas arriba de la cadena de suministro, se ha denominado *Efecto BULLWHIP* (Lee, 1997a; Chen, 2000; McCullen, 2002).

Las consecuencias del efecto Bullwhip son: excesivas inversiones en Inventario a lo largo de la Cadena de Suministro, para atender una excesiva variabilidad de la Demanda; niveles de Servicio bajos, debido a la falta de productos disponibles; Capacidad insuficiente o excesiva en planta y calendarios de fabricación inestables; y altos Costes de almacenamiento y transporte (Holstrom, 2003; Disney, 2003).

## 3. Objetivos del Trabajo

El **efecto Bullwhip** se transmite y amplifica a lo largo de la Cadena de Suministro afectando de forma clara y evidente al Servicio al Cliente que desea prestar la empresa. Por ello esta comunicación presenta el *diseño de un Modelo* que permita *balancear el nivel de Inventario y el nivel de Servicio al Cliente*, teniendo en cuenta las restricciones de Capacidad de la empresa.

Para efectuar **medidas del efecto Bullwhip** se establecen una *serie de parámetros*, relacionados con el nivel de servicio, además de otros parámetros estándar para la Cadena de Suministro; permitiendo a su vez la medida de la eficiencia de la misma. Se focaliza la **minimización del efecto Bullwhip** a partir del control del Inventario de los miembros de la Cadena, considerando así mismo la Previsión de la Demanda.

El Modelo, a su vez determinará el grado de influencia y la modificación en las Órdenes de Producción y los niveles de Inventario. Todo ello merced a un **nuevo enfoque, orientado hacia la capacidad y los recursos para producción**, de manera que el escenario del Bullwhip no solamente se centra en el Cliente sino en el Fabricante, determinando el nuevo escenario de gestión de Producción. Este enfoque permitirá ver cómo son modificadas las consecuencias actuales del efecto Bullwhip, y en qué grado, para conseguir la mitigación de dicho efecto Bullwhip y de los elementos que lo componen. Para ello se modelizará la *variabilidad de la Demanda*, y se establecerá el *grado de influencia en la Planificación de Producción* y el lanzamiento de las Órdenes de Fabricación, en función de los recursos disponibles en el momento (capacidades), teniendo en cuenta las diferentes características y factores de la personalización del producto, ciclo de vida, y obsolescencia o degradación del mismo.

Orientando la investigación hacia la *flexibilidad de respuesta* ante el Cliente y su Demanda para que, independientemente del volumen de demanda, sea capaz de asignar capacidades de producción (fabricación y/o montaje). En esta nueva orientación se quiere mantener la conexión con los trabajos y modelos existentes, por lo que será necesaria establecer la **conexión con el control de inventarios y el nivel de servicio al cliente, desde el punto de vista de Producción** (no del Cliente). La flexibilidad de respuesta debe ir unida, tal como se ha determinado, con la Capacidad de producción, detectando a su vez el problema de Asignación de Capacidad a Pedidos (demanda real). Este modelo pretende ser capaz de determinar y fijar las cantidades en las Órdenes de Fabricación y las cantidades de las Órdenes o Pedidos al Proveedor, determinando el modo de trabajo y la información que fluye en la Cadena de Suministro.

De esta manera, no solamente se modeliza la Cadena de Suministro desde el punto de vista de Producción (capacidad y recursos) para eliminación del efecto Bullwhip y cumplimiento de la Demanda real, sino que permite analizar y modelar el sistema para la fabricación de esos Stocks de Seguridad (Inventarios) que se proponen con las **otras técnicas: Alisamiento de la Demanda** (Dejonckheere, 2002, Chen, 2000) y **Vendor Managed Inventory** (Holström, 1998; Disney, 2001; Kaipia, 2003), para la eliminación del efecto Bullwhip. Este modelo permitirá a cada uno de los miembros de la Cadena analizar y conocer como mitigar las consecuencias del efecto Bullwhip.

#### **4. Desarrollo de la Modelización**

En una cadena de suministro típica formada por proveedor, fabricante, mayorista, distribuidor, minorista y cliente final, funcionando contra-almacén, la información circula a través de toda la cadena, aunque la mayoría de los integrantes de la misma solo tienen acceso a la que les proporciona la empresa situada inmediatamente aguas arriba o debajo de los mismos. Sin una clara visión de la demanda del cliente final, muchas compañías solo pueden confiar en la información a la que tienen acceso, que a menudo es distorsionada por los otros participantes de la cadena.

Este problema fue fácilmente demostrado por Sterman (1989) con su famoso Beer Game, practicado en todas las Escuelas de Negocios. El Beer Game se basa en una cadena de suministros formada por cinco niveles controlados cada uno de ellos por un jugador: Proveedor, Fabricante, Mayorista, Distribuidor y Minorista, cada uno de ellos es cliente del anterior y proveedor del siguiente, y solo el minorista tiene acceso a la demanda real del cliente.

Basándose en la demanda actual, el minorista prevé los pedidos futuros y envía sus pedidos al distribuidor o mayorista con los que satisfará futuras entregas. Así el distribuidor también realiza sus propias previsiones basándose en los pedidos del minorista y realiza sus pedidos al mayorista, y el mayorista al fabricante de cerveza y así sucesivamente a lo largo de toda la cadena. Cada previsión se basa en la suposición de que el anterior (el enviado por el nivel situado inmediatamente aguas abajo) es acertado. Sin embargo, tras varias rondas jugando, el sistema se desnivela estrepitosamente. Las fluctuaciones de la demanda en el nivel del minorista repercuten a lo largo de toda la cadena. Los jugadores responden a los desniveles en la demanda con ajustes en sus previsiones. Por ejemplo, si el distribuidor recibe un aumento en las cajas de cerveza a servir, por ejemplo de 10 a 20, le entra el pánico y dobla sus pedidos de cerveza al mayorista para evitar quedarse sin cerveza que servir en caso de que la anterior tendencia alcista en los pedidos continúe. Según progresa el juego, los jugadores introducen un número de unidades en sus previsiones que se destinarán al stock de seguridad. Estas fluctuaciones dentro de las previsiones se amplifican en todos los niveles de la cadena según se avanza aguas arriba de la misma. Finalmente, los jugadores comienzan a encontrarse con excesivos inventarios y alivian su producción, con lo que se encuentran vulnerables ante pedidos inesperados. Se puede observar que la cadena de suministro se vuelve ineficiente y el nivel de servicio al cliente disminuye. Como se ha visto, los jugadores no consiguen igualar producción con demanda.

Analizando la Cadena de Suministro, los distintos niveles existentes en la misma, así como las empresas participantes y el papel que cada una de ellas participa en el conjunto global de la citada Cadena, se puede ver que un pequeño cambio en el patrón de **demanda** de un cliente se **magnifica** conforme fluye a través de los procesos de distribución, producción y aprovisionamiento. En cada etapa, la desviación se amplifica. Este efecto fue identificado y estudiado por Burbidge (1991) y Forrester(1958) y es conocido como el *Efecto Forrester*.

Los autores Lee, Padmanabhan y Whang (1997a) denominan a este efecto de amplificación de la demanda como “efecto Bullwhip” el cual describe como la “erosión” (llamado así por la pérdida de calidad de la misma) de la información, la ausencia de transparencia a través de toda la cadena de suministro y la desconexión entre producción y la información en tiempo real sobre el suministro de productos (materias primas, o terminados) resulta en una pérdida de ingresos, descenso en el nivel del servicio al cliente, altos niveles de inventario y baja calidad de los productos terminados .

#### **4.1. Consecuencias Del Efecto Bullwhip**

Como se citaba anteriormente la imposibilidad de igualar la demanda con el suministro de productos resulta en excesos de inventario. Los costes de almacenamiento pueden ser muy dañinos especialmente en las empresas que fabrican productos que quedan rápidamente obsoletos (empresas de alta tecnología por ejemplo). Inversamente, el no poder acceder a datos exactos de la demanda también puede resultar en roturas de stock. De esta manera el no

poder satisfacer la demanda de nuestros clientes obliga a éstos a acudir a otros proveedores con el peligro de que no vuelvan a comprarnos, por lo que no solo se pierden los ingresos fructos de esa transacción sino que además les doy a mis clientes la posibilidad de probar a mis competidores con el riesgo de perder futuros ingresos. Incluso cuando las compañías piensan que pueden satisfacer pedidos inesperados en el último momento apresurando su producción, a menudo terminan encontrándose con bajos niveles de calidad y devolución de envíos. De esta manera la empresa no solo tiene que enfrentarse al coste de revisar el envío y acarrear con los costes que suponga su modificación, o incluso el volver a fabricarlo, sino que asumirá el negativo efecto que esto supone en su nivel de servicio al cliente.

#### 4.2. Estructura del Modelo de Cadena de Suministro

Se muestra a continuación la estructura general de una cadena de suministro que integra, como ya se dijo, cuatro elementos: cliente final, minorista, mayorista y fabricante. Ver ([figura 1](#))

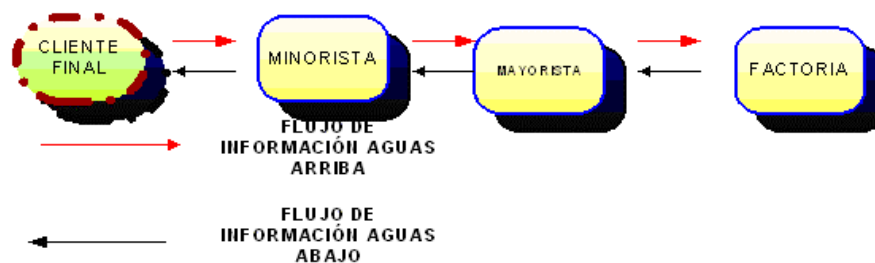


Figura 1. Cadena de Suministro propuesta.

Las características del modelo realizado son las siguientes:

1. El sistema trabaja contra-almacén, es decir, se realiza una previsión de las posibles demandas diarias de productos y en función de esa previsión se envían las órdenes de distribución o fabricación. Así el minorista realiza una previsión de las posibles ventas en función de datos *históricos de pedidos*, esta previsión es enviada al mayorista, el cual a su vez envía una orden al fabricante, esta vez en forma de orden de fabricación. Se considera que las materias primas utilizadas para la fabricación están disponibles en todo momento y no existen retrasos en la entrega de las mismas.
2. La demanda del cliente final es completamente aleatoria (aunque siempre dentro de un máximo y un mínimo prefijados), y se ha establecido con una periodicidad diaria. La simulación en un principio es de 365 días.
3. Uniproducto. La posibilidad de varios tipos de productos no está contemplada.
4. La política de inventario perseguida por cada uno de los integrantes de la cadena consiste en satisfacer todas las órdenes recibidas (chase demand), de tal forma que la orden recibida sigue dos caminos:
  - 1) Es recibida, analizada y entra dentro del histórico de pedidos.
  - 2) Si es posible, es decir, si en el almacén se dispone de suficiente inventario de productos terminados, esta orden es satisfecha.
5. Cada miembro de la cadena **dispone un** Stock de Seguridad para su almacén. En cada pedido este stock es revisado, y si disminuye de una cierta cantidad, la orden de pedido incluirá las unidades de las que conste dicho Stock de seguridad.
6. De las cinco fuerzas competitivas (Porter) que pueden afectar al sistema modelizado (clientes, competidores del sector industrial, proveedores, entrada de nuevos competidores y productos sustitutivos) solo se ha tenido en cuenta a los clientes, en

cuanto a lo que el nivel de servicio al cliente se refiere (entiéndase nivel de servicio al cliente como el porcentaje resultante del total de productos servidos entre el total de pedidos). Los demás factores pueden ser añadidos al modelo en la medida que se desee.

- De las restricciones de la capacidad de producción, como son el número de empleados, horas disponibles, subcontratación, horas extra, capacidad de la maquinaria, mantenimiento de la misma, sólo se han tenido en cuenta el número de horas por día que se trabaja y el número de trabajadores disponibles, que son constantes, así como el número de horas que necesita cada producto para su fabricación (uniproducción).

#### 4.2.1. Niveles del modelo

El modelo desarrollado consta de cuatro elementos, cliente final, minorista, mayorista y Fabricante, cada uno de ellos, a su vez, deberá de modelarse como parte del modelo de la cadena. Se muestran el modelo del Nivel Minorista mostrando los detalles de la construcción de dicho modelo.

##### Nivel : Minorista

El minorista recibe las órdenes del cliente final y le sirve a éste en función del estado de su inventario. Además a la orden de pedido se añaden los pedidos pendientes. Los pedidos al mayorista dependen de la previsión de pedidos que realiza el minorista, en el modelo la variable asignada a este cometido es PREVISIÓN DE DEMANDA MINORISTA. El minorista recibe los envíos de productos que se van almacenando, al mismo tiempo, debe satisfacer la demanda real de artículos por parte del cliente final. Si estos pedidos no son satisfechos en la fecha requerida, o bien se sirven en el momento que el minorista disponga de stock suficiente, o por el contrario, se pierde el pedido. En el modelo se ha considerado que los pedidos no entregados en la fecha pedida pueden ser servidos con posterioridad.

El nivel del minorista se representa en la [figura 2](#)

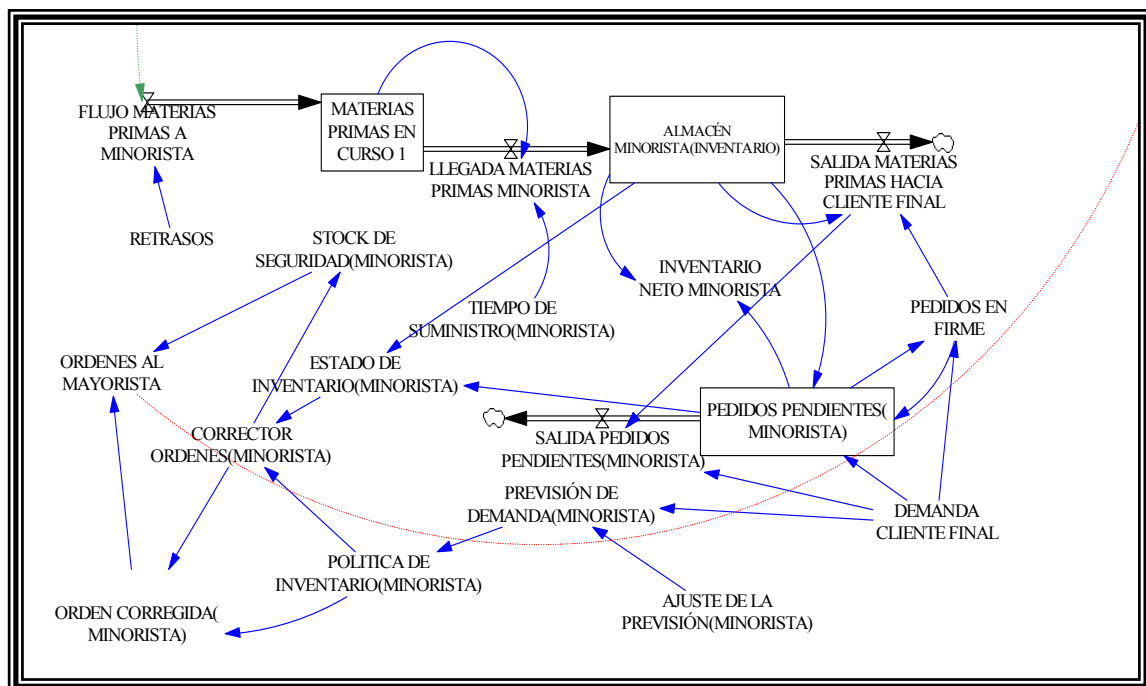


Figura 2. Nivel del Minorista

A continuación se muestran los detalles de la construcción de este nivel:

Una vez que se realiza la previsión de la demanda del cliente final, la **información** (se distinguirán a partir de ahora las variables que representan flujos de información y las que representan flujos de materiales) se envía a la variable POLÍTICA DE INVENTARIO (MINORISTA) que en nuestro modelo coincide con la previsión realizada. La información de esta variable se envía a la variable CORRECTOR DE ÓRDENES (MINORISTA) cuyas entradas son las siguientes :

1. La variable ESTADO DE INVENTARIO (MINORISTA) está condicionada por el estado de la variable de nivel ALMACÉN MINORISTA (INVENTARIO) y la variable PEDIDOS PENDIENTES (MINORISTA), la fórmula que los relaciona es la siguiente :

**"ESTADODEINVENTARIO(MINORISTA)"="ALMACÉN MINORISTA(INVENTARIO)"-  
"PEDIDOSPENDIENTES(MINORISTA)"**

Es decir, que el estado del inventario vendrá determinado por la cantidad de productos disponibles en el almacén menos los pedidos pendientes de servir.

2. La variable POLÍTICA DE INVENTARIO (MINORISTA) coincide con la previsión realizada.

Las fórmulas asociadas a la variable CORRECTOR DE ÓRDENES (MINORISTA ) son:

**"CORRECTOR ORDENES(MINORISTA)"=**  
**"ESTADO DE INVENTARIO(MINORISTA)"-"POLITICA DE INVENTARIO(MINORISTA)"**

La variable ORDEN CORREGIDA(MINORISTA) recibe **información** de la variable CORRECTOR DE ÓRDENES (MINORISTA ) y de la variable POLÍTICA DE INVENTARIO (MINORISTA). La fórmula que los relaciona es la siguiente :

**"ORDEN CORREGIDA(MINORISTA)"=IF THEN ELSE("CORRECTOR  
ORDENES(MINORISTA)"<"POLITICA DE INVENTARIO(MINORISTA)","POLITICA  
DE INVENTARIO(MINORISTA)",0)**

Se utiliza un condicional que ofrece dos resultados en función de los diferentes valores de las variables CORRECTOR DE ÓRDENES (MINORISTA ) y POLÍTICA DE INVENTARIO (MINORISTA):

- a) Si la variable CORRECTOR DE ÓRDENES (MINORISTA ) es menor que la variable POLÍTICA DE INVENTARIO (MINORISTA) entonces la variable ORDEN CORREGIDA (MINORISTA) es igual a la variable POLITICA DE INVENTARIO (MINORISTA)
- b) Si no se cumple el requisito anterior la variable ORDEN CORREGIDA (MINORISTA) es igual a 0.

En adelante y para simplificar, la estructura de las variables que vengán condicionadas por la función IF THEN ELSE (condición,X,Y) seguirán este comportamiento, es decir, el resultado será X si se cumple la condición , y si no se cumple será Y.

La información de la variable ORDEN CORREGIDA (MINORISTA) es enviada a la variable ORDENES AL MAYORISTA .

Ya se ha explicado como funciona la variable ORDEN CORREGIDA (MINORISTA), la variable STOCK DE SEGURIDAD (MINORISTA) lleva asociada la siguiente fórmula:

"STOCK DE SEGURIDAD(MINORISTA)"=  
IF THEN ELSE("CORRECTOR ORDENES(MINORISTA)"<50,50,0)

Es un condicional, entonces si la variable CORRECTOR DE ÓRDENES (MINORISTA) es menor que el stock de seguridad (fijado en 50 unidades) entonces adoptará la cantidad de 50 unidades , de lo contrario será 0.

La variable ÓRDENES AL MAYORISTA lleva asociada la siguiente fórmula :

**ORDENES AL MAYORISTA=**  
"ORDENECORREGIDA(MINORISTA)"+"STOCKDESEGURIDAD(MINORISTA)"

De esta manera aseguramos que el inventario no disminuya excesivamente de 50 unidades, ya que es muy posible que llegue a hacerlo ya que no hemos adoptado ningún Punto de pedido que tenga en cuenta el tiempo de suministro y mantenga siempre el inventario en 50 unidades. El valor de la variable ORDENES AL MAYORISTA es enviado (flujo de información) a la variable DEMANDA MAYORISTA donde se transformará siguiendo un proceso idéntico al anteriormente citado para el caso del minorista en una orden para el fabricante, proceso que se explicará más adelante . Si se examina el modelo, se puede observar que el resultado de la variable SALIDA MATERIAS HACIA MINORISTA (situada en el nivel del Mayorista y que corresponde a un flujo de materiales) llega a la variable FLUJO MATERIAS PRIMAS A MINORISTA la cual tiene asociada la siguiente formulación :

**FLUJO MATERIAS PRIMAS A MINORISTA=**  
SALIDA MATERIAS HACIA MINORISTA/RETRASOS

La cual viene afectada por la variable RETRASOS que introduce un retardo en la llegada de las materias primas por motivos exógenos a la cadena de suministro (en nuestro modelo se le asigna el valor 1).

Este flujo de materiales determinado por la variable MATERIAS PRIMAS A MINORISTA alimenta una variable de nivel MATERIAS PRIMAS EN CURSO 1 que va acumulando las unidades que llegan al minorista procedentes del mayorista. La formulación es la siguiente:

**MATERIAS PRIMAS EN CURSO 1=** INTEG (FLUJO MATERIAS PRIMAS A MINORISTA-LLEGADA MATERIAS PRIMAS MINORISTA,0)

Su valor inicial es 0.

Esta variable tiene como salida la variable de flujo LLEGADA MATERIAS PRIMAS MINORISTA que tiene asociada la formulación siguiente:

**LLEGADA MATERIAS PRIMAS MINORISTA=**  
IF THEN ELSE (INVENTARIO NETO MINORISTA<2000,MATERIAS PRIMAS EN CURSO 1/"TIEMPO DE SUMINISTRO(MINORISTA)",0)

Como se puede observar, va afectada de la variable TIEMPO DE SUMINISTRO, que introduce un retardo en la llegada de las materias primas al almacén del minorista. Este tiempo de suministro es ocasionado por el transporte de las materias primas, papeleos, y como ya se verá, puede ser reducido gracias a la conexión en tiempo real entre las dos empresas mediante tecnologías de la información utilizando herramientas EDI (Electronic Data Interchange), CPFR (Collaborative Planning Forecasting and Replenishment) , VMI



(Vendor Managed Inventory).

De ahí que se haya introducido la variable MATERIAS EN CURSO 1 como variable de nivel, ya que ésta va acumulando la llegada de materiales y de esta forma no se pierde la información sobre la entrada de pedidos. Además el condicional asignado a esta variable limita la capacidad neta del almacén en **2000 unidades**.

La variable de nivel ALMACÉN MINORISTA (INVENTARIO) tiene la siguiente formulación:

**"ALMACÉN MINORISTA(INVENTARIO)"=**  
INTEG (LLEGADA MATERIAS PRIMAS MINORISTA-SALIDA MATERIAS PRIMAS HACIA CLIENTE FINAL,50)

Se ha asignado una cantidad inicial de 50 unidades.

Representa la acumulación de unidades que van llegando al almacén del minorista y que salen del mismo en función del valor de la variable SALIDA MATERIAS PRIMAS HACIA CLIENTE FINAL cuya formulación es la siguiente:

**SALIDA MATERIAS PRIMAS HACIA CLIENTE FINAL=**  
IF THEN ELSE ("ALMACÉNMINORISTA(INVENTARIO)">=PEDIDOS EN FIRME),PEDIDOS EN FIRME,0)

El condicional nos indica que si en el almacén del minorista existe un número mayor o igual de unidades que el que se requiere para satisfacer el pedido entonces éste se sirve, de lo contrario la orden pasa a la variable de nivel PEDIDOS PENDIENTES (MINORISTA) en la que éstos se almacenan hasta que son satisfechos. Ésta variable tiene la siguiente formulación :

**"PEDIDOS PENDIENTES(MINORISTA)"=**  
INTEG (IF THEN ELSE ("ALMACÉNMINORISTA(INVENTARIO)">=PEDIDOS EN FIRME,0,DEMANDA CLIENTE FINAL)-"SALIDA PEDIDOS PENDIENTES(MINORISTA)",0)

Añade un condicional que nos indica que si las unidades fabricadas en el almacén del minorista superan en cantidad a los pedidos, entonces no existirán pedidos pendientes de servir, de lo contrario, los pedidos pendientes de servir será la demanda del cliente final. Los pedidos pendientes de servir se van acumulando en la variable de nivel PEDIDOS PENDIENTES (MINORISTA) hasta que pueden ser servidos. Los pedidos pendientes de servir son satisfechos gracias a la variable de flujo SALIDA PEDIDOS PENDIENTES (MINORISTA) cuya formulación es la siguiente:

**"SALIDA PEDIDOS PENDIENTES(MINORISTA)"=**  
IF THEN ELSE (SALIDA MATERIAS PRIMAS HACIA CLIENTE FINAL-DEMANDA CLIENTE FINAL>=0,SALIDA MATERIAS PRIMAS HACIA CLIENTE FINAL-DEMANDA CLIENTE FINAL,0)

Los pedidos pendientes se irán entregando en función del crecimiento del almacén del inventario del minorista. Téngase en cuenta que los pedidos pendientes acumulados entran dentro de la orden de pedido hacia el mayorista. En la fórmula anterior podemos observar que la unidades se van entregando conforme la operación SALIDA MATERIAS PRIMAS

HACIA CLIENTE FINAL-DEMANDA CLIENTE FINAL es positiva . Podría hacerse de forma que no hubiese salida de pedidos pendientes hasta que  $SALIDA\ MATERIAS\ PRIMAS\ HACIA\ CLIENTE\ FINAL-DEMANDA\ CLIENTE\ FINAL \geq 0$  pero esto ocasionaría picos muy elevados en el sistema ya que las variables de nivel acumulan datos y esta acumulación se iría haciendo cada vez más grande lo que provocaría órdenes de mayor volumen cada vez , que al mismo tiempo acarrearía excesos de inventario que nunca son deseables (costes de oportunidad) aparte de que podríamos sobrepasar la capacidad del almacén, lo que ocasionaría la pérdida de las materias primas sobrantes (así programado en el modelo). Como ya se dijo, la variable ÓRDENES AL MAYORISTA, envía los pedidos necesarios al NIVEL 2 que corresponde al mayorista, y en particular a la variable DEMANDA MAYORISTA .

## 5. Conclusiones

El objeto del Trabajo que se presenta es el análisis en profundidad del efecto Bullwhip así como sus repercusiones sobre la Cadena de Suministro y los efectos sobre el Servicio al Cliente, tanto a nivel final como intermedio, unido al desarrollo de un Modelo que permita considerar de forma conjunta las decisiones empresariales sobre nivel de Inventarios y nivel de Servicio, considerando las restricciones de Capacidad de la empresa.

## Referencias

- Burbidge, 1984. Burbidge J.L. “Automated production control with a simulation capability”. IFIP Working paper, WG5(7), Copenhagen.
- Burbidge, 1991. Burbidge, J.L., “Period Batch Control (PBC) with GT – The way forward from MRP”, BPCIS Annual Conference, Birmingham, 1991.
- Chen, 2000. Chen F., Drezner Z., Ryan J., y Simchi-Levi D. “Quantifying the Bullwhip effect in a simple Supply Chain: The impact of Forecasting, Lead Times an Information”. *Management Science*, vol.46, pp.436-443, March 2000.
- Dejonckheere, 2002. Dejonckheere J., Disney S.M., Lambretch M.R., Towill D.R. “Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chains”. *International Journal of Production Economics*. Vol.78, pp.133-144, 2002.
- Disney, 2001. Disney, S., Towill D.R. “The effect of Vendor Managed Inventory (VMI) Dynamics on the Bullwhip Effect in Supply Chains”. *International Journal of Production economics*, 2001.
- Disney, 2003. Disney, Farasyn, Lambrecht, Towill, y Van de Velde. “Creating win-win scenarios from the bullwhip problem by design not accident”. *EUROMA POMS Conference*, Italy 2003.
- Forrester, 1961. Forrester, J., “Industrial dynamics”, Cambridge MA, MIT Press, 1961
- Holström, 1998. Holström J. “Business process innovation in the supply chain – a case study of implementing vendor managed inventory”. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, vol.4, pp. 127-131.
- Holström, 2003. Holström J., Smaros J., Disney S., Towill D. Collaborative Supply Chain configurations: the implications for supplier performance in production and inventory control. 8<sup>th</sup> International Symposium of Logistics, Sevilla, Spain, 2003.
- Houlihan, 1987. Houlihan, J.B., “International supply chain management”, *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 17, No. 2, pp.51-661987.

- Kaipia, 2003. Kaipia R., Tanskanen K. Vendor manager category management – an outsourcing solution in retailing. *Journal of Purchasing & Supply Management*, vol.9, pp 165-175. 2003.
- Lee, 1997. Lee H.L., Padmanabhan V., Whang S. “Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect”. *Management Science*, vol.43, pp.543-558. 1997.
- Lee, 1997a. Lee H.L., Padmanabhan V., Whang S. “The Bullwhip effect in supply chains”. *Sloan Management Review*, Spring, pp.93-102. 1997.
- Mason-Jones, 1997. Mason-Jones R., Towill D. Information enrichment: Designing the supply chain for competitive advantage. *Supply Chain Management*, vol.2, pp.137-148. 1997.
- McCullen, 2002. McCullen P., Towill D. Diagnosis and reduction of bullwhip in supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, vol.7, pp.164-179. 2002.
- Sterman, J. (1989): “Modelling managerial behaviour: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment”, *Management Science*, Vol. 35, No. 3, pp 321-339.