



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Facultade de Economía e Empresa

Trabajo de
fin de grado

**El efecto látigo en
los canales de
distribución.**

Un modelo de dinámica de
sistemas.

Ana María Vázquez Santiso

Tutor: Rafael María García
Rodríguez

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Año 2014

Trabajo de Fin de Grado presentado en la Facultad de Economía y Empresa de la Universidade da Coruña para la obtención del Grado en Administración y Dirección de Empresas

Resumo

Na literatura sobre distribución faise referencia ao conocido como “xogo da cerveza”, no que se ilustra a importancia da transmisión de información ao longo da cadea de suministro e as súas distorsións, así coma os retardos materiais e de información entre os distintos membros do canal, un problema persistente na cadea de suministro. A importancia deste tema reside no aforro que se pode conseguir, seguindo uns criterios de decisión determinados: de costes de inventario, ao evitar a acumulacion excesiva de stock, e de costes de perda de clientes, ao producirse roturas de stocks. O obxectivo do traballo é elaborar un modelo de simulación que reproduza a estrutura do xogo e permita explorar as consecuencias observadas no devandito xogo en condicións reais. Para isto, elabóranse os diagramas causais que incorporan as interrelacións entre as diferentes variables que se incúen no modelo plantexado. A partir deles construímos os diagramas de fluxo dos diferentes inventarios dos axentes que interveñen no xogo, así como das súas carteiras de pedidos, elaborando posteriormente un modelo de simulación para o que empregamos o programa Vensim. Para rematar, abordaremos o obxectivo principal do traballo, que consiste en plantexar diferentes políticas para mitigar o patrón de comportamento dos inventarios no xogo da cerveza, conocido como o efecto látigo. Finalmente incluiremos un anexo no que se proporciona unha visión xeral do modelo e os seus parámetros.

Palabras chave: cadea de suministro, inventario, carteira de pedidos, información, previsión, política.

Número de palabras: 14.059

Resumen

En la literatura sobre distribución se hace referencia al conocido como “*juego de la cerveza*”, en el que se ilustra la importancia de la transmisión de la información a lo largo de la cadena de suministro y sus distorsiones, así como los retardos materiales y de información entre los distintos miembros del canal, un problema persistente en la cadena de suministro. La importancia de este tema reside en el ahorro que se puede conseguir siguiendo unos criterios de decisión determinados: de costes de inventario, al evitar la acumulación excesiva de stock, y de los costes de pérdida de clientes, al producirse roturas de stocks. El objetivo del trabajo es elaborar un modelo de simulación que reproduzca la estructura del juego y permita explorar las consecuencias observadas en dicho juego en condiciones reales. Para ello se elaboran los diagramas causales que incorporan las interrelaciones entre las diferentes variables que se incluyen en el modelo planteado. A partir de ellos hemos construido los diagramas de flujo de los diferentes inventarios de los agentes que intervienen en el juego, así como de sus carteras de pedidos, elaborando posteriormente un modelo de simulación utilizando el programa Vensim. Para terminar, abordaremos el objetivo principal del trabajo, que consiste en plantear diferentes políticas para mitigar el patrón de comportamiento de los inventarios en el juego de la cerveza, conocido como el efecto látigo. Finalmente incluiremos un anexo en el que se proporciona una visión general del modelo y sus parámetros.

Palabras clave: cadena de suministro, inventario, cartera de pedidos, información, previsión, política.

Número de palabras: 14.059

Abstract

Distribution literature refers to the known “beer game” which illustrates the importance of information transmission and its distortions throughout the supply chain, as well as material and information delays between the different members of the channel, which is a persistent problem in the supply chain. The importance of this issue lies in the costs savings that can be achieved by following certain criteria decision: on one hand, inventory costs could be reduced by avoiding the accumulation of stock; and on the other hand, the costs of lost customers when stock outs occur could descend. The objective of this work is to develop a simulation model to reproduce the structure of the game and to allow to explore the consequences observed in the game in actual conditions. To achieve this target causal diagrams, that incorporate the interrelations between the different variables included in the proposed model, are developed. From them, we built the flowcharts of the inventories of the different agents involved in the game as well as their unfilled orders. After that, we developed a simulation model, using the Vensim program. Finally, we will address the main objective of the work, which is to propose different policies to mitigate the pattern of behavior of inventories in the beer game, known as the bullwhip effect. At the end of the project, we will include an annex which provides an overview of the model and its parameters.

Keywords: supply chain, inventory, backlog, information, forecast, policy.

Índice

Introducción	9
1. El juego de la cerveza	11
1.1 Contexto y explicación	11
1.2 Identificación del problema	14
1.3 Diagrama causal	19
1.4 Diagrama de flujo	22
1.4.1 Minorista	24
1.4.2 Distribuidor	27
1.4.3 Fabricante	32
2. Modelo de simulación	40
2.1 Situación de equilibrio	40
2.2 Simulación de políticas	41
2.2.1 Política avanzada	42
2.2.2 Política elemental	47
2.2.3 Política de previsión	50
2.2.4 Política de ajuste	56
2.2.5 Elección de la política	59
2.2.6 Ahorro en costes	60
Conclusiones	64
Bibliografía.....	65
Anexo 1. Horas dedicadas	67
Anexo 2. ecuaciones del modelo de simulación	68

Índice de figuras

Figura 1. Flujos en la cadena de suministro.	14
Figura 2. Efecto látigo.	15
Figura 3. Diagrama causal de la política de compras general.	21
Figura 4. Diagrama de flujo de la cadena de suministro.	23
Figura 5. Diagrama de flujo del inventario del minorista.	26
Figura 6. Diagrama de flujo de la cartera de pedidos del minorista.	27
Figura 7. Diagrama de flujo del inventario del distribuidor.	29
Figura 8. Diagrama de flujo de la cartera de pedidos del distribuidor.	29
Figura 9. Variables que influyen en la política de compras del minorista.	30
Figura 10. Diagrama de flujo del inventario del fabricante.	32
Figura 11. Variables que influyen en la orden de producción.	34
Figura 12. Diagrama de flujo de la cartera de pedidos del fabricante.	36
Figura 13. Variables que influyen en la política de compras del distribuidor.	37
Figura 14. Situación de equilibrio.	41
Figura 15. Evolución inventarios con política avanzada y base en demanda final.	43
Figura 16. Comparación de inventarios reales y deseados de todos los agentes en política avanzada con previsión sobre demanda final.	45
Figura 17. Comparación de las bases de previsión en la política avanzada.	46
Figura 18. Comparación inventarios reales y deseados con política elemental y previsión según demanda final.....	48
Figura 19. Evolución de las carteras de pedidos en política elemental según demanda final....	49
Figura 20. Inventarios reales y deseados en política elemental con previsión en función de la demanda de los agentes.	50
Figura 21. Inventarios reales y deseados de los agente en política de previsión en función de las demandas de los participantes.	52
Figura 22. Inventarios reales y deseados con política de previsión según demanda final.	54
Figura 23. Política de previsión según la base de previsión.	55
Figura 24. Comparación inventario efectivo e inventario con política de ajuste.	57

Figura 25. Comparación inventarios efectivos e inventarios en política de ajuste con base de
previsión en la demanda final. 59

Figura 26. Estructura de costes. 61

Figura 27. Costes con política avanzada. Previsión con base en demanda de los agentes. 62

Figura 28. Inventarios efectivos. 62

Figura 29. Costes con política avanzada. Previsión con base en demanda final..... 63

Figura 30. Comparacion de costes en políticas avanzada y elemental 63

Índice de tablas

Tabla 1. Tareas realizadas para el TFG..... **67**

Introducción

El juego de la cerveza, diseñado en los años 60 en el MIT, pone de manifiesto problemas persistentes de la cadena de suministro como la amplificación del inventario o la oscilación del mismo, que se producen cuando la demanda aumenta, aunque sea ligeramente. El juego original analiza las relaciones entre cuatro agentes: minorista, mayorista distribuidor y fabricante, quienes realizan pedidos al agente inmediatamente superior y sirven al inmediatamente inferior.

Aunque el modelo del juego de la cerveza se haya creado en el pasado siglo, sigue siendo un tema de actualidad ya que muchas de las empresas de hoy en día que pueden acceder a toda la información necesaria para su toma de decisiones, gracias a estudios de mercado y a la evolución de las nuevas tecnologías, siguen utilizando criterios de decisión basados en la información equivocada.

El motivo que me ha hecho escoger este tema para mi trabajo de fin grado es mi interés en distribución comercial y el hecho de poder analizar problemas estratégicos dentro de esta disciplina de un modo diferente, ya que “hoy en día, una mejor comprensión de la dinámica compleja que determina el rendimiento de las cadenas de suministro se ha hecho crucial para un rendimiento superior en la gestión de la cadena de suministro” (Akkermans y Dellaert, 2005, p. 173), acudiendo por este motivo a la dinámica de sistemas en vez de realizar un proyecto tradicional.

Los objetivos de este trabajo son demostrar la importancia de la información en la cadena de suministro para la realización de previsiones de demanda y la importancia

de los retardos, así como el planteamiento de diferentes políticas que permitan eliminar el patrón de comportamiento presente en el juego de la cerveza. Para la consecución de estos objetivos seguiré la siguiente estructura: abordaré el problema que surge en la estructura del juego. Describiré el patrón de comportamiento que sufren los inventarios en dicho juego y analizaré sus causas. Posteriormente presentaré un diagrama causal para comprender la interrelación entre las diferentes variables y diagramas de flujo para visualizar con más profundidad las relaciones entre las mismas y comprenderlas a través de las ecuaciones que se plantean. Todo esto se hace con el único objetivo de plantear políticas de compras y de producción que sirvan para solucionar el problema presente en la cadena de suministro.

1. El juego de la cerveza.

1.1 Contexto y explicación.

Desde la perspectiva de la dinámica de sistemas, la cadena de suministro se traduce en un conjunto de relaciones entre los inventarios y carteras de pedidos del fabricante y todo tipo de intermediarios, como distribuidores y minoristas, que sean necesarios para entregar el bien o servicio final al consumidor.

“Este concepto ha introducido el valor de la integración de socios comerciales. Dicha integración no sólo se aplica al flujo de materiales desde el proveedor de materias primas hasta la entrega del producto terminado, sino también al flujo de información del mercado hacia los socios de la cadena de suministro” (Van Landeghem y Vanmaele, 2002, p.1). Estos flujos implican retardos de producción, distribución e información que las empresas siguen teniendo que afrontar hoy en día ya que, aunque se han producido grandes avances tecnológicos en la gestión de la cadena de suministro, las empresas son cada vez de mayor dimensión y tienen que delegar algunas de sus actividades en otros miembros del canal. Como consecuencia, “hoy en día la mayoría de los productos y servicios se entregan a través de una red altamente fragmentada de organizaciones independientes y semi-independientes, de manera que nadie está realmente a cargo de la red en su conjunto” (Akkermans y Dellaert, 2005, p.175). Cada vez más, el fabricante se encuentra en una posición más lejana del consumidor final, lo que en un primer momento hace pensar que no puede acceder a toda la información que necesita para realizar sus previsiones sin incurrir en sesgos. Pues bien, nada más lejos de la realidad, las organizaciones de hoy en día cuentan con numerosos recursos para acceder a datos sobre el mercado final, ya sea a través de recursos tecnológicos como EDI¹ o bien con estudios de mercado. Sin embargo, los decisores no siempre manejan la información adecuada para realizar su

¹ EDI es el intercambio electrónico de datos a través de un sistema electrónico y un lenguaje común para la realización de pedidos (Vázquez y Trespalacios, 2009, p. 345).

trabajo y como consecuencia las políticas de compras o producción no son siempre las más adecuadas. Es en este escenario en el que el juego de la cerveza trata de simular la evolución en el inventario de los participantes de una cadena de suministro con una demanda exógena y sin cooperación entre ellos.

“El juego de la cerveza es un juego de simulación de un sistema de producción industrial y distribución desarrollado en el MIT, donde cada sujeto tiene como objetivo la reducción de los costes de inventario y de rotura de stocks” (Sterman, 1989, p. 341). “Ambos objetivos son contradictorios. Si almacenamos cantidades insuficientes de artículos estaremos dando un nivel de servicio bajo, aunque el coste de almacenaje se mantenga en niveles mínimos. Si por el contrario, almacenamos más de lo debido estaremos dando un buen nivel de servicio, pero el coste de almacenaje se disparará. Por lo tanto, la gestión de stocks tiene la difícil misión de encontrar un equilibrio entre estos dos objetivos” (López, 2004, p. 79).

El juego de la cerveza del que estamos hablando, “desarrollado en los años 60 en la escuela de gestión Sloan del Massachusetts Institute of Technology” (Maani y Cavana, 2007, p. 199), es un estudio de la cadena de suministro y de los flujos de información y materiales, así como de las políticas llevadas a cabo por los miembros que la componen en un escenario de salto, en el que la demanda aumenta y permanece en el nuevo valor a lo largo del tiempo. La problemática del juego comienza cuando el inventario del minorista es insuficiente para atender la demanda final y comienza a pedir más de lo que solía, de forma que los agentes, entre ellos el minorista, reaccionan a las circunstancias de manera extrema. Este comportamiento se transmite a lo largo de la cadena de suministro colapsando a los agentes y perdiendo ventas a todos los niveles en un principio, para posteriormente asumir un fuerte coste de inventario resultado de la acumulación en almacén.

El canal que vamos a tratar en dicho juego es un canal indirecto de distribución típico, en el que cada organización tiene identidad jurídica propia y trabaja de forma relativamente autónoma. En este tipo de canal existen intermediarios, y por lo tanto, el fabricante tiene menos conocimiento sobre las preferencias o necesidades del consumidor final, lo que más tarde abordaremos como una de las causas del efecto látigo.

La simulación tradicional consta de cuatro eslabones: minorista, mayorista, distribuidor y fabricante. Todos ellos tratan de ajustar su inventario sólo fijándose en el mismo, es decir, en la diferencia que existe entre el inventario que tienen y el que desearían tener, y hacen los pedidos correspondientes (sin tener en cuenta el

inventario que puedan tener en camino) a su proveedor inmediatamente superior en la cadena de suministro.

En el juego de la cerveza, las acciones se suceden de la siguiente manera:

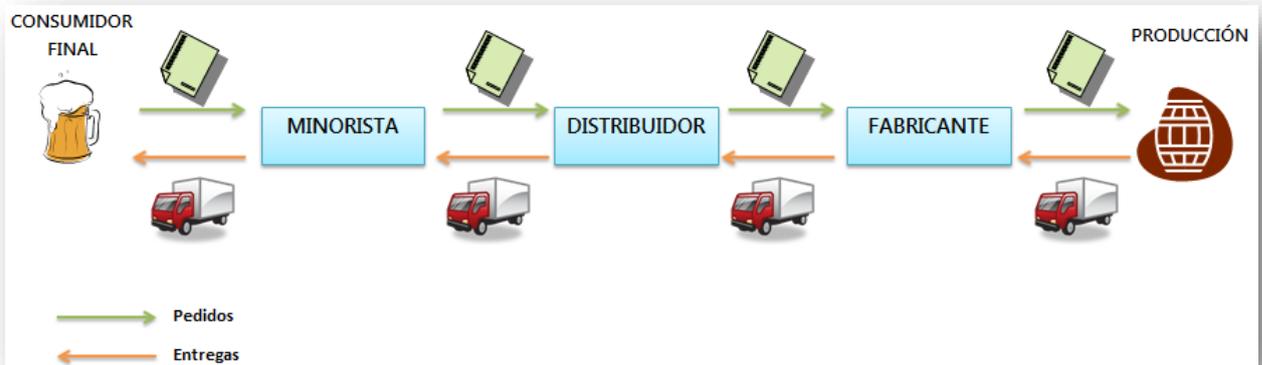
1. Cada miembro de la cadena de suministro emite un pedido a su proveedor (se produce un retardo desde que el pedido es emitido hasta que le llega al agente encargado de satisfacer esa demanda).
2. Los proveedores reciben estos pedidos y los despachan (si la demanda es mayor que el inventario se produce un retardo hasta que esté disponible dicho inventario en un periodo futuro).
3. Llegan los envíos de los agentes que se encuentran en la parte superior de la cadena de suministro.
4. Se producen nuevos pedidos de los clientes de los diferentes niveles.

En nuestro caso, trataremos el juego con sólo tres eslabones de la cadena de suministro para simplificar el análisis. Por lo tanto, como podemos ver en la figura 1, tendremos en cuenta como agentes a:

- ❖ Un minorista que realiza pedidos a un distribuidor en función de su inventario, que disminuye como consecuencia de los pedidos que le realiza el consumidor final.
- ❖ Un distribuidor que pide a un fabricante para satisfacer la demanda del minorista al que provee.
- ❖ Un fabricante que emite las órdenes de producción correspondientes.

Las entregas de estos pedidos irán en dirección opuesta a la anterior, es decir, desde los eslabones superiores de la cadena a los inferiores. Por lo tanto podemos afirmar que los flujos de materiales y los de información recorren la cadena de suministro en direcciones opuestas. Además, cabe destacar la importancia de los retardos que podemos intuir en la figura 1, estos se producen tanto en la realización de pedidos como en los despachos de los mismos. Estos retardos, fruto de la interdependencia entre los agentes, dificultan enormemente la toma de decisiones.

Figura 1. Flujos en la cadena de suministro.



Fuente: elaboración propia a partir de Croson et al., 2014, p.180.

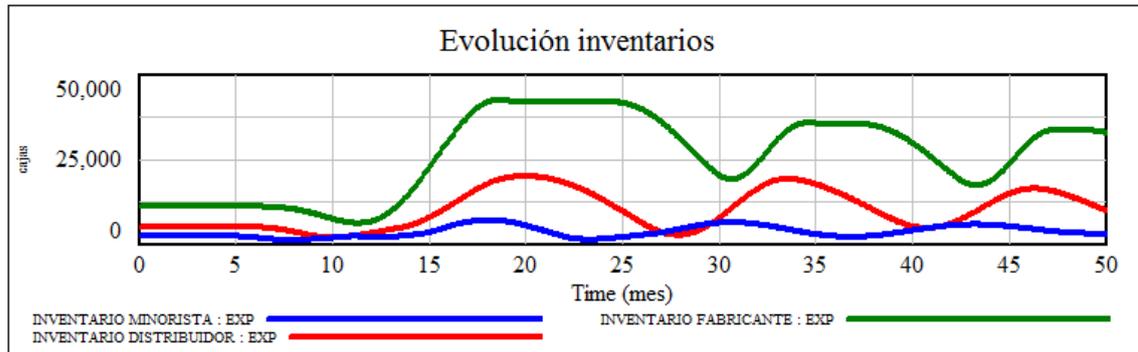
1.2 Identificación del problema.

Los problemas estratégicos se detectan por el patrón de comportamiento de las variables estratégicas y, en nuestro caso, dicha variable es el nivel de inventario. El juego comprende una alteración en la demanda del consumidor final que desemboca en retardos en el modelo, dando lugar al denominado efecto látigo, problema que vamos a abordar en este trabajo (figura 2).

“El término describe la amplificación de la demanda, que surge cuando incluso pequeñas alteraciones en la demanda de los consumidores, aumentan según son transferidas a lo largo de la cadena de suministro”. (Van Landeghem y Vanmaele, 2002, p. 770). Croson y Donohue (2005) afirman:

“Este aumento se mide en términos de un cambio en la varianza de los pedidos realizados en cada nivel de la cadena de suministro. Por ejemplo, en una cadena de suministro de dos niveles que consta de un minorista y el fabricante, el efecto látigo implicaría que la varianza de los pedidos recibidos por el fabricante es mayor que la varianza de la demanda experimentado por el minorista”. (p. 249).

Figura 2. Efecto látigo.



Fuente: elaboración propia.

A la hora de explicar las causas que provocan el efecto látigo podemos diferenciar entre factores operacionales y de comportamiento.

- ❖ **Factores operacionales:** se trata de errores en las señales de la demanda que enfatizan los ajustes de los pedidos (Croson y Donohue, 2005, p. 249).

Vamos a explicar lo que sucedería si se produjese un pulso en la demanda, es decir, una variación puntual de ésta (vamos a suponer que un aumento) ya que es la forma más clara de ver los errores en las señales de la demanda. El minorista interpretará que su demanda futura va a ser como la que ha tenido en el último periodo (debido a que para hacer la previsión tiene en cuenta los valores históricos y utiliza un tiempo promedio² muy bajo en el que prácticamente no alisa la información que le llega) y realizará pedidos al distribuidor de manera que el inventario recupere el valor que tenía antes del aumento de la demanda y una cantidad a mayores de cajas para satisfacer el aumento de su demanda futura; pero la demanda no se va a mantener, sino que vuelve a su estado original. De este modo el minorista habrá sobreestimado la demanda y habrá realizado pedidos al distribuidor en función de esta mala previsión que está muy por encima de los pedidos necesarios para satisfacer a la demanda futura real. El distribuidor actuará de la misma manera, pero incurriendo en un mayor error y más grave, ya que hará una previsión de la demanda del minorista que estará distorsionada con respecto a la demanda del consumidor final. Como la demanda del distribuidor ha

² Los procesos de alisado a través de los tiempos promedio sirven para ignorar variaciones en las variables que no tengan relevancia o que sean puntuales, pero al mismo tiempo suponen retardos en los flujos de información. Por lo tanto, siempre suponen una distorsión de la información. (García, s.f., p. 11).

aumentado considerablemente ya que es todavía mayor a la del minorista, el fabricante piensa que ha habido un cambio de tendencia y realiza otra previsión sobre los pedidos que le hace el distribuidor decidiendo emitir una mayor orden de producción. De esta manera, cuando la demanda vuelva a sus valores normales, el agente que haya aumentado su inventario en mayor medida para hacer frente a una hipotética demanda futura que no tendrá lugar, sufrirá una mayor amplificación de inventario por no dar salida a estos productos (cuando los demás agentes ajusten sus inventarios reduciendo las compras), siendo éste el caso del fabricante. De esta manera se produce un sesgo importante en la información que manejan los participantes situados en las partes superiores de la cadena, quienes acumulan los errores de los demás agentes.

Por lo tanto el gran problema en la interpretación de la demanda que abordaremos de una manera más visual en las simulaciones de las políticas, está en qué base de previsión se toma. Si como en el juego de la cerveza, la base de previsión de la demanda es sobre las demandas de los agentes, se acumulan los errores de previsión a lo largo de la cadena de suministro debido a sesgos en la información. Esto último deriva en la amplificación de los inventarios de los participantes según se asciende por dicha cadena, además de un comportamiento oscilatorio de los mismos producido en parte por los retardos sufridos.

“La amplificación de la varianza se produce cuando el agente ajusta sus pedidos por encima de las señales de la demanda. Además, la oscilación aumenta en el plazo de reaprovisionamiento” (Lee, 1997, p. 5).

En este sentido podemos hablar de dos tipos de información que van en dos sentidos opuestos: la que pueden pasar los agentes más próximos al consumidor y la que pasarían los eslabones superiores a los eslabones inferiores de la cadena. Es la primera la que más afecta en la aparición del efecto látigo, por lo tanto si existiera confianza entre los diferentes miembros de la cadena, sería posible compartir datos e información sobre la demanda final que, en manos de los agentes superiores de la cadena mitigarían el efecto látigo al tener unas señales de la demanda más acordes con la realidad. “Compartir información sobre el inventario con el miembro que se encuentra en la parte superior (un proveedor, distribuidor...) puede mejorar los resultados de la simulación de la cadena de suministro” (250 Croson y

Donohue, 2005, p. 250). Esto es lógico debido a que no se está haciendo ninguna estimación que pueda tener una mala base de previsión o que aun siendo correcta esta última no dé un buen resultado por falta de información o racionalidad limitada de los individuos. Al contar con la información del miembro inferior de la cadena se está acudiendo a la fuente de información, por lo que ésta será más precisa y real. Así la cobertura de inventario será menos necesaria con el correspondiente ahorro en costes de stock. Por estos motivos, “la parte fundamental de un sistema en el que se comparte información de inventario es aquella en la que se comunica dicha información de los individuos inferiores a los superiores y no al revés” (Croson y Donohue, 2005, p. 250).

Sin embargo, lo más común (además de compartir información) es que las distintas organizaciones realicen estudios de mercado sobre la demanda de sus clientes, sin darse cuenta de que la verdaderamente importante es la demanda del consumidor final. Para ilustrar esto, tomaremos como ejemplo una empresa que vende a minoristas y que reduce su plazo de transporte de 30 días a 3 días. A partir de este momento recibe menos pedidos de sus clientes porque estos ya no necesitan una cobertura de mercado tan amplia y pueden pedir según vayan agotando su inventario, pero que bajen los pedidos de los minoristas en el corto plazo no significa que haya bajado la demanda final, ni siquiera que lo haya hecho la de los minoristas. Simplemente, la demanda final se mantiene y los minoristas no tienen que hacer pedidos tan grandes y frecuentes porque ahora la empresa lo sirve antes y puede pedir cuando le sea necesario. Es por este motivo, que asombra que en la actualidad, con las tecnologías y los datos a disposición de los tomadores de decisiones, se siga optando, por lo general, por una base de previsión de la demanda inadecuada que hace obtener una información distorsionada de la realidad.

- ❖ **Factores de comportamiento:** estos factores se atribuyen a las limitaciones cognitivas de los decisores (Croson y Donohue, 2005, pp. 249, 250).

En el juego de la cerveza esta racionalidad limitada se pronuncia a través de la infravaloración de la cadena de suministro, ya que el decisor no suele tener en cuenta las compras en camino al ignorar que forman parte de su inventario. “En concreto, las personas tienden a hacer sus pedidos en base a la

diferencia entre su nivel de inventario objetivo y su inventario actual, sin dar la importancia que se merecen a los pedidos pendientes de recibir” (Croson et al., 2014, p. 177).

Para ilustrar este factor de comportamiento utilizaremos el siguiente ejemplo: supongamos, para no mezclar distintos problemas, que todos los miembros de la cadena de suministro realizan sus previsiones en base a la demanda final pero que por un incremento de la demanda aumentan fuertemente las carteras de pedidos tardando más los pedidos en ser servidos. Como ningún agente tiene en cuenta las compras en camino, el minorista incrementará sus pedidos artificialmente, ya que no le llegan las entregas por parte del distribuidor; y éste hará lo mismo con el fabricante, de manera que cada vez se produzcan mayores retardos por el incremento de la cartera de pedidos, además de un mayor sesgo en la información. Así, el fabricante tarda en servir la mercancía no sólo por su plazo de entrega normal y el plazo de transporte, sino también por el aumento de su cartera de pedidos que cada vez es mayor. Son los retardos la causa principal de oscilación en los inventarios de los participantes en el juego de la cerveza, ya que si son muy elevados, con el paso del tiempo los agentes caerán en una rotura de stocks y no podrán atender a su demanda. Cuando los pedidos son recibidos de forma masiva, al ser estos mucho mayores que la demanda real, se cae en una acumulación de inventario siendo ésta mayor cuantos más niveles ascendemos por la cadena de suministro. Antes esta situación, los diferentes agentes tratarán de ajustar su inventario y reducirán las compras, produciéndose oscilaciones por los retardos y la política de compras.

Por lo tanto, el no tener en cuenta el inventario en camino sólo provoca más retardos que hacen que aumenten las compras en camino, y amplificaciones de inventarios efectivos al recibir las compras en camino.

Este factor de comportamiento lo abordaremos en el presente trabajo como causante del efecto látigo en el juego de la cerveza, ya que implica numerosos retardos que el decisor no tiene en cuenta y, por lo tanto, que no controla, provocando de este modo fuertes oscilaciones. Este problema lo haremos desaparecer con la política avanzada, que a diferencia de las demás que proponemos, tiene en cuenta las compras en camino.

Para comprender mejor las relaciones más importantes de la cadena plantearemos diagramas causales.

1.3 Diagrama causal.

“Un diagrama causal es una herramienta para mostrar las relaciones causales entre un conjunto de variables que operan en un sistema”. (Maani y Cavana, 2007, p. 28).

Mediante un diagrama causal que permita ver más profundamente las interdependencias entre las diferentes variables vamos a representar gráficamente la estructura sistémica que causa el patrón de comportamiento del efecto látigo. De este modo podremos observar comportamientos que son frecuentemente anti intuitivos y que forman bucles de realimentación.

En primer lugar vamos a aclarar la notación que hemos empleado para la elaboración del diagrama:

- ❖ Los bucles positivos que se refieren a una gran aceleración, de manera que las variables que integran el bucle sufren una mayor amplificación hasta que éste termina por cerrarse. Son bucles generadores de crecimiento y se representan por una bola de nieve (Senge, 1990).
- ❖ Los bucles negativos, a diferencia de los anteriores, tratan de nivelar el sistema y mantenerlo en un estado deseado, por lo que se puede decir que tratan de alcanzar un objetivo y hacerlo perdurar en el tiempo. Estos bucles se representan con una balanza (Senge, 1990).
- ❖ El diagrama causal está formado por relaciones causa-efecto entre las diferentes variables que lo componen representadas con una flecha que une dichas variables. Estas relaciones pueden ser positivas si ambas variables varían en la misma dirección, o negativas si es al contrario. Para representar las relaciones positivas se utiliza el signo + y para las negativas el signo – en la punta de cada flecha.
- ❖ Existen retardos que afectan a la política de compras en el juego de la cerveza, y en el diagrama causal estos se representan mediante dos barras sobre la flecha que une las dos variables entre las que se produce el retardo.

El diagrama causal de la figura 3 representa la política de compras general para el juego de la cerveza en el que podemos observar las variables básicas del diagrama que son: el nivel de inventario, el nivel de cartera de pedidos, las ventas y las compras.

Para realizar las compras, el encargado de la tarea se fija en la escasez de inventario y en las ventas previstas de manera que realizará una mayor compra si prevé vender más o si cree que su inventario es insuficiente para satisfacer a la

demanda; pero además existen otras variables que aportan información sobre el inventario (inventario deseado, ajuste de inventario, tiempo de ajuste de inventario y cobertura de inventario)³ así como los retardos que se desprenden de la interrelación entre las variables y que también influyen en las decisiones que el responsable de compras tome.

Como podemos apreciar existe un bucle negativo entre el inventario y las ventas que pone de manifiesto que las ventas modifican el inventario y también que el inventario regula las ventas siempre que el inventario sea escaso, ya que si hubiera inventario ilimitado o muy superior a la demanda, éste no influiría en las ventas. Las ventas disminuyen el inventario inmediatamente, pero existe un tiempo que media entre que los productos salen del inventario y llegan al consumidor, por lo que están afectados por retardos.

Otro bucle de realimentación negativo es el que se forma alrededor de las compras y el inventario. Las compras se alimentan en parte del ajuste de inventario, entendiendo por éste la diferencia entre el inventario que se desea tener y el que efectivamente se tiene (ajustándose en un tiempo determinado), de manera que si hay una diferencia considerable entre el inventario y su valor objetivo, se producirá un mayor ajuste de inventario para poder llevar el inventario a su nivel deseado y el responsable de compras tendrá que comprar más mercaderías. Pero no podemos obviar que existe un retardo desde que se realizan las compras hasta que éstas llegan al inventario. Este es un claro ejemplo de bucle negativo en el que se persigue el objetivo de ajustar el nivel de stock.

Un tercer bucle negativo es el que se forma entre las ventas y la cartera de pedidos, de modo que cuantas más ventas realice el agente, de forma inmediata menos pedidos pendientes de atender tendrá y por lo tanto menor será su cartera de pedidos. Sin embargo, existe una relación causa-efecto positiva entre la cartera de pedidos y las ventas, de modo que cuanto mayor sea el nivel de cartera de pedidos, más ventas acabará realizando el eslabón de la cadena correspondiente. Estas ventas se lograrán en un mayor plazo, es decir, con atrasos derivados de una cartera de pedidos amplia que impide atender rápidamente a los clientes.

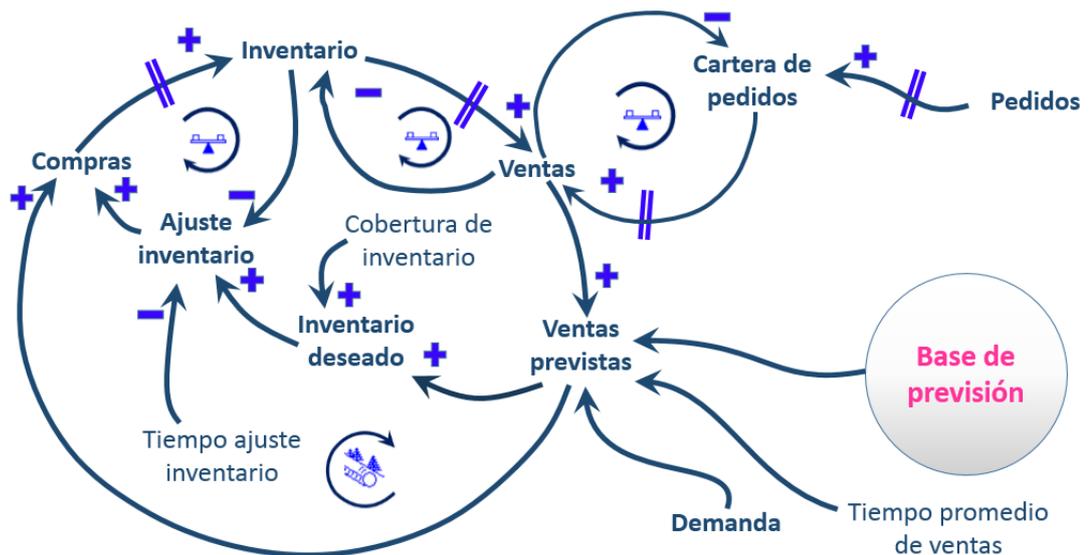
A pesar de la existencia de estos tres bucles de realimentación negativos, el bucle principal del diagrama es positivo. En este bucle el inventario tiene una relación causa-

³ El inventario deseado es el nivel objetivo de inventario que se pretende alcanzar. El ajuste de inventario, es el cambio que se debe realizar en el inventario actual para llegar a su nivel deseado. El tiempo de ajuste de inventario comprende el número de periodos en los que el inventario se ajusta a su nivel deseado. La cobertura de inventario es el número de periodos en el que, con una determinada demanda, no se entraría en rotura de stocks.

efecto positiva con las ventas, y cuanto mayor es el número de éstas, también es mayor la previsión de ventas realizada. El individuo a cargo de las compras, adquirirá más mercancía cuanto más prevea vender para evitar una rotura de stocks. En las ventas previstas se encuentra la clave del efecto látigo ya que, como hemos explicado en la identificación del problema, éstas dependerán de la base de previsión que la empresa adopte, ya que puede hacer una previsión sobre la demanda final o sobre la demanda de su cliente. Si optase por la primera opción se producirían considerables errores en la transmisión de la información a lo largo de la cadena de suministro, lo que anteriormente hemos explicado como causa del efecto látigo.

Finalmente, como ya hemos comentado antes, la relación que existe entre las compras y el inventario es positiva, alimentándose el inventario de la mercancía que llega a través de las compras que previamente se han realizado.

Figura 3. Diagrama causal de la política de compras general.



Fuente: elaboración propia.

Una vez explicados los bucles de realimentación del diagrama causal, tenemos que decir que existe erosión de objetivos al realizar las compras en función de las ventas previstas en vez de en función de los pedidos que los clientes efectúan. Al ser de este modo, la empresa puede estar comprando cantidades de mercancía erróneas, ya que compra en función de lo que vende sin reparar en que sus ventas pueden estar influidas por aspectos internos. Si la empresa deja sin atender pedidos, pierde clientes o se encuentra en cualquier situación que no le permite vender todo lo que podría según sus circunstancias, las ventas están sesgadas y no reflejan fielmente la

demanda. Cada vez la empresa compraría menos porque vendería menos, pero eso no quiere decir que la demanda fuera menor, es por este motivo que a este problema se le conoce con el nombre de erosión de objetivos. Para evitarla, debería comprar en función de los pedidos de los clientes como veremos en nuestras simulaciones posteriores.

A continuación estableceremos los flujos físicos del sistema y sus ecuaciones que son la base de la elaboración del modelo simulación, para posteriormente hacer lo propio con las diferentes políticas.

1.4 Diagrama de flujo.

“Un modelo representará una forma simplificada de un sistema, entendiendo por sistema una representación de un conjunto de objetos o ideas que están interrelacionados entre sí como una unidad para la consecución de un fin” (González, 1999, p. 4). Los diagramas de flujo son la parte principal en la elaboración de un modelo ya que contienen todas las relaciones y ecuaciones del modelo en cuestión. En los diagramas de flujo observaremos las variables nivel, pero estas variables no se pueden modificar en sí mismas, son los flujos los que las hacen variar y en definitiva las componen. Por lo tanto, cualquier nivel está formado por su valor inicial y por los flujos de entrada menos los de salida, proporcionando información para que los participantes de la cadena tomen las decisiones de compra y producción según cada caso. Además, hemos incorporado variables auxiliares para facilitar la comprensión del modelo.

Para una mejor identificación de las variables es preciso aclarar que las variables nivel tendrán forma de rectángulo y los flujos se representarán con flechas de doble trazo. Así mismo, las nubes representan el origen y el destino –externos al modelo- de los flujos sin limitar a estos últimos, ya que se supone su capacidad infinita (García, 2013, p. 68). En primer lugar, expondremos en la figura 4 el diagrama de flujo completo de todo el modelo para después pasar a explicar los diferentes niveles existentes. Es necesario hacer una primera aclaración en la que podemos decir que hemos incluido el inventario efectivo para todos los participantes de modo que la cartera de pedidos también influya en las compras. De esta manera se realizarán pedidos en función del ajuste de inventario en almacén y del ajuste de la cartera de pedidos. Si no fuese así, se realizarían compras sin tener en cuenta el nivel de pedidos que se tienen sin atender y sería más difícil darles salida.

Observando esta figura podemos explicar los diagramas de flujo para cada nivel:

1.4.1 Minorista.

❖ Diagrama de flujo para el inventario del minorista.

El inventario del minorista es una variable nivel que se alimenta de las entregas efectivas que el distribuidor le envía y que a su vez se reduce por el flujo de salida, es decir, por los despachos que el minorista hace al cliente final, como podemos ver en la figura 5. Así, el inventario del minorista lo podemos expresar como la diferencia entre el flujo de entrada y de salida teniendo en cuenta el valor del inventario inicial que, en este caso, es el valor deseado del mismo para poder partir de una situación de equilibrio. Se representaría mediante la siguiente ecuación:

$$(1) \text{ INVENTARIO MINORISTA} = \text{INTEG} (\text{entregas efectivas del distribuidor} - \text{despachos al cliente final, inventario deseado min})^4$$

El inventario inicial que como hemos dicho, es el deseado, sería aquel que permite atender las ventas previstas del minorista durante un periodo de tiempo determinado por la cobertura de inventario.

$$(2) \text{ inventario deseado min} = \text{cober inventario minorista} * \text{previsión demanda minorista}$$

El flujo de entrada del inventario del minorista se corresponde con las entregas efectivas del distribuidor. Estas entregas son las cajas de cerveza que el minorista recibe después de haber esperado un plazo inevitable, al que llamamos plazo de transporte y que media entre el momento en que la mercancía es enviada por el distribuidor y el momento en que realmente le llega al minorista. Como valor inicial hemos fijado la demanda final para que

⁴ La función INTEG devuelve la integral de la tasa. La variable al lado izquierdo de la igualdad es el nivel.

sea posible partir de una situación de equilibrio. La ecuación del flujo de entrada sería la siguiente:

(3) Entregas efectivas del distribuidor = DELAY FIXED (despachos al minorista, plazo de transporte, demanda final).⁵

El flujo de salida del inventario del minorista son las entregas que éste puede hacer, por este motivo su ecuación viene explicada por el mínimo entre lo que tiene en inventario y todos los pedidos que le hace el cliente final (es decir, desde los más recientes hasta los acumulados de periodos anteriores, reflejados en la cartera de pedidos del minorista). Si el cliente final le pide al minorista más de lo que éste tiene en inventario sólo le podrá entregar lo que tiene, pero si le pide menos le entregará lo que le pide vaciando la cartera de pedidos (se tiene en cuenta la cartera de pedidos en vez de contemplar solamente los pedidos que hace el consumidor final porque si no fuese así, el minorista sólo atendería a los últimos encargos que le llegan, quedando sin atender los pedidos acumulados en la cartera de forma continuada, aunque el minorista tuviera inventario suficiente para atenderlos). La ecuación resultante es:

(4) Despachos al cliente final = MIN (INVENTARIO MINORISTA/TIME STEP, Cartera pedidos minorista).⁶

En la vida real, lo más frecuente es que el vendedor racione los productos entre los diferentes clientes en vez de abastecer totalmente a una cantidad de consumidores, para dejar sin posibilidad de compra a los demás. A efectos de nuestro estudio esto es irrelevante, no importa si dosifica la mercancía a vender o no, ya que la cantidad total de ventas perdidas o de demanda que no se satisface es la misma. Por este motivo, utilizamos la función MIN y de este modo simplificamos la ecuación.

⁵ La función DELAY FIXED se utiliza para que la ecuación y, en definitiva, la relación de las variables, se vea afectada por un retardo. Devuelve el valor del input atrasado por el tiempo de retardo.

⁶ La función MIN devuelve el menor entre los dos valores incluidos.

(García, s.f., p. 9) es el que en nuestro modelo llamamos demanda base. La ecuación de los pedidos del cliente final, por lo tanto, viene explicada por la demanda del consumidor final.

(6) Pedidos cliente final = demanda final.

Por otro lado, su flujo de salida son las cajas que el minorista le despacha al cliente final. La ecuación de los despachos al cliente final es la misma que la explicamos anteriormente como flujo de salida del inventario, siendo ahora el flujo de salida de la cartera de pedidos del minorista.

Figura 6. Diagrama de flujo de la cartera de pedidos del minorista.



Fuente: elaboración propia.

1.4.2 Distribuidor.

❖ Diagrama de flujo para el inventario del distribuidor.

El inventario del distribuidor es análogo al del minorista como podemos ver en la figura 7 y a través de su ecuación:

(7) INVENTARIO DISTRIBUIDOR= INTEG (entregas efectivas del fabricante-despachos al minorista, inventario deseado distribuidor).

En este caso, el inventario inicial del distribuidor es el inventario que éste desea tener (siguiendo su ecuación la misma estructura que la del inventario deseado del minorista), por lo que con una demanda constante no se produce desequilibrio alguno.

El flujo de entrada que modifica el inventario del distribuidor son las entregas efectivas del fabricante. Estas entregas que recibe el distribuidor se

explican a través de un retardo material sobre los despachos al distribuidor provocado por el plazo de transporte de la mercancía.

(8) Entregas efectivas del fabricante = DELAY FIXED (despachos al distribuidor, plazo de transporte, demanda final).

Los despachos al minorista son el flujo de salida del inventario del distribuidor, y responden a una función de mínimo como los despachos al cliente final que hemos comentado con anterioridad:

(9) Despachos al minorista = MIN (INVENTARIO DISTRIBUIDOR/TIME STEP, CARTERA PEDIDOS D).

En este caso, existen entregas en camino por parte del distribuidor que conforman el inventario en camino del minorista y que son aquellos despachos del distribuidor que el minorista ha pedido pero todavía no ha recibido. La ecuación anterior, además de ser flujo de salida, son flujo de entrada para las entregas en camino del distribuidor, cuya ecuación es:

(10) ENTREGAS EN CAMINO DISTRIBUIDOR = INTEG (despachos al minorista-entregas efectivas del distribuidor, compras en camino deseadas min).

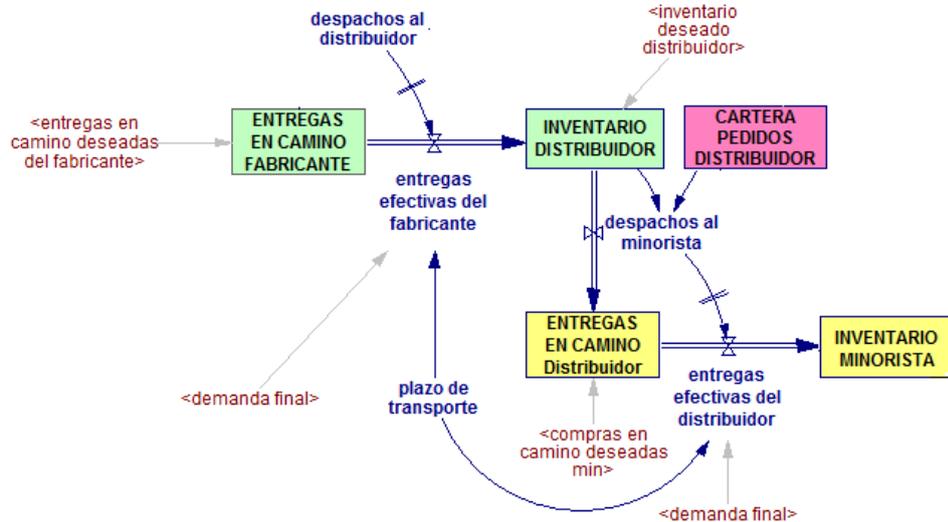
El flujo de salida ya se explicó en el anterior punto ya que es también el flujo de entrada para el inventario del minorista.

El valor inicial de esta variable nivel es el valor deseado para el minorista de su inventario en camino, al igual que como ocurre con el inventario físico. En este caso, el minorista deseará que sus compras en camino sean la demanda final por un plazo de transporte que no se puede evitar.

(11) compras en camino deseadas min=plazo de transporte*demanda final.

Por lo tanto, el inventario total del minorista será el inventario con el que cuenta en almacén y el inventario que tiene en camino y que aún no ha recibido.

Figura 7. Diagrama de flujo del inventario del distribuidor.



Fuente: elaboración propia.

❖ **Diagrama de flujo de la cartera de pedidos del distribuidor.**

En la cartera de pedidos del distribuidor el flujo de entrada son los pedidos que el minorista le realiza al distribuidor como podemos ver en la figura 8, mientras que los despachos al minorista ya los hemos explicado en el anterior punto.

Figura 8. Diagrama de flujo de la cartera de pedidos del distribuidor.



Fuente: elaboración propia.

Para determinar los pedidos que realiza, el minorista sigue una serie de políticas cuyas variables se pueden observar en la figura 9 y que vamos a explicar una a una.

- Política de previsión: esta política funciona cuando la demanda es conocida e incluso cuando se sufre alguna variación puntual, siempre que no sea permanente en el tiempo y el inventario la pueda soportar. Para hacer la previsión de la demanda, el minorista hace un alisado de información fijándose en los pedidos del consumidor final en función de un tiempo promedio determinado para ajustar los objetivos. Con respecto a esto último “se ha de decidir entre llevar a cabo un mayor alisado con el fin de reducir las fluctuaciones sin significación a costa de un retraso importante o hacer menos alisado con el fin de reducir los retrasos en extraer la información significativa deseada a costa de conservar aún cierto ruido”. (García, s.f., p. 10).

(12) Política previsión = previsión demanda minorista.

- Política de ajuste: se realizan pedidos para ajustar el inventario a su nivel deseado con un tiempo de ajuste de inventario determinado de modo que cuanto mayor sea el tiempo de ajuste más tardará el minorista en alcanzar su nivel deseado. La función utilizada, MAX, devuelve el máximo valor entre los dos que componen la ecuación de la política y en este caso se utiliza para que no tome valores negativos.

(13) Política ajuste = MAX (0, ajuste inventario min + ajuste cartera pedidos del minorista).

- Política elemental: es la suma de las dos políticas anteriores y la que suelen aplicar la mayoría de las compañías en la actualidad.

(14) Política elemental = MAX (0, ajuste inventario min + ajuste cartera pedidos del minorista + previsión demanda minorista).

- Política avanzada: incluye las compras en camino a la política elemental, lo que significa que también se tiene en cuenta el inventario en camino del minorista a la hora de tomar decisiones.

(15) Política avanzada = MAX (0, ajuste inventario min + ajuste cartera pedidos del minorista + ajuste compras en camino min + demanda final).

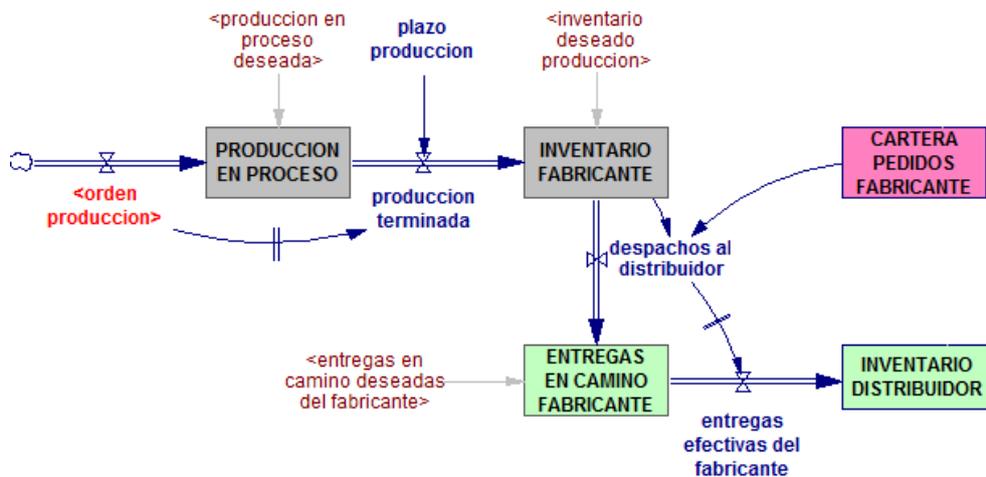
Posteriormente ampliaremos las explicaciones en relación a las diferentes políticas propuestas.

1.4.3 Fabricante.

❖ Diagrama de flujo del inventario del fabricante.

Como podemos ver en la figura 10 el proceso comienza con una orden de producción que se planifica en función de las diferentes políticas que acabamos de mencionar, que son las mismas para todas las agentes.

Figura 10. Diagrama de flujo del inventario del fabricante.



Fuente: elaboración propia.

Estas políticas, que se ven afectadas por las variables que se presentan en la figura 11, son:

- Política de previsión: la previsión de la demanda realizada por el fabricante puede tener como base la previsión de la demanda que hace el minorista (demanda final), o bien los pedidos medios que el distribuidor le hace el fabricante y que son los pedidos que realiza el distribuidor alisados por un tiempo promedio determinado. La ecuación de la política es la que sigue:

$$(16) \text{ Política previsión} = \text{previsión demanda fabricante.}$$

- Política de ajuste: presenta la misma forma que la del minorista.
(17) Política ajuste = MAX (0, ajuste inventario fabricante + ajuste cartera pedidos del fabricante).
- Política elemental: como las políticas elementales de los otros eslabones de la cadena, es la suma de la política de ajuste y de la política de previsión.
(18) Política elemental = MAX (0, ajuste inventario fabricante + ajuste cartera pedidos del fabricante + prevision demanda fabricante).
- Política avanzada: tiene en cuenta el inventario en camino del fabricante representado en el modelo como ajuste de producción en proceso.
(19) Política avanzada = MAX (0, ajuste inventario fabricante + ajuste cartera pedidos del fabricante + ajuste produccion en proceso + prevision demanda fabricante).

Una vez decidida la política, se emite una orden de producción y se comienza a elaborar la cerveza obteniendo la variable nivel producción en proceso, que constituye el inventario en camino del fabricante (cuyo flujo de entrada es, por lo tanto, la variable orden de producción y su valor inicial es valor deseado del nivel).

(20) PRODUCCION EN PROCESO= INTEG (orden producción - producción terminada, producción en proceso deseada).

Cuando ha finalizado la elaboración de la cerveza se obtiene la producción terminada que conforma el flujo de salida del nivel anterior y a la vez el de entrada del inventario del fabricante y cuya ecuación queda definida por el plazo de producción que comienza desde que se emite la orden de producción hasta que se obtiene el producto final:

(21) producción terminada = DELAY FIXED (orden producción, plazo producción, orden producción).

De forma análoga a la situación del minorista y el distribuidor, podemos expresar la ecuación del inventario del fabricante del siguiente modo:

(22) INVENTARIO FABRICANTE= INTEG (producción terminada despachos al distribuidor, inventario deseado producción).

Los despachos al distribuidor son el flujo de salida del inventario del fabricante ya que es la cantidad de cajas que éste le envía al distribuidor y que presentan la misma estructura que los despachos al cliente final (9):

(23) despachos al distribuidor= MIN (CARTERA PEDIDOS FABRICANTE, INVENTARIO FABRICANTE).

❖ **Diagrama de flujo de la cartera de pedidos del fabricante.**

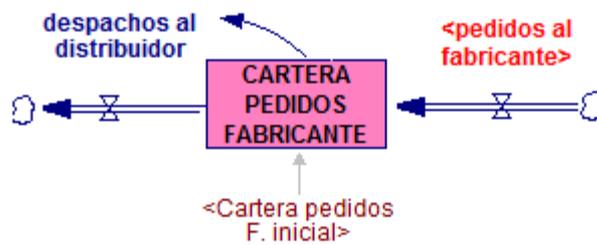
La cartera de pedidos del fabricante presenta la misma estructura que la del distribuidor. En este caso, el valor inicial es la cartera de pedidos inicial

que es igual a la demanda final, su flujo de salida se explicó en la ecuación 23 y el flujo de entrada de la cartera son los pedidos que el distribuidor encarga al fabricante.

(24) CARTERA PEDIDOS FABRICANTE= INTEG (pedidos al fabricante- despachos al distribuidor, "Cartera pedidos F. inicial").

Como podemos ver en la figura 12, el flujo que ya hemos explicado como flujo de salida del inventario del fabricante, es también el flujo de salida para la cartera de pedidos del fabricante. Además, como hacía el minorista, el distribuidor lleva a cabo una serie de políticas para determinar los pedidos que va a realizar (y serán el flujo de entrada de la cartera de pedidos del fabricante) cuyas variables se representan en la figura 13.

Figura 12. Diagrama de flujo de la cartera de pedidos del fabricante.



Fuente: elaboración propia.

- Política de previsión: hay variaciones con respecto a la del minorista, ya que el distribuidor puede hacer la previsión sobre la demanda final sin incurrir en ningún sesgo, o bien sobre la demanda del minorista, con la que estaría distorsionando la información. Por lo tanto, hay dos opciones para la previsión de la demanda del distribuidor. La primera ya la hemos explicado en las políticas del minorista, y la segunda es un alisado de los pedidos que el minorista hace al distribuidor. Podemos ver entonces que el distribuidor puede tomar como base de previsión la previsión de la demanda final o la previsión de los pedidos que le hace el minorista.

(25) Política previsión = previsión demanda distribuidor.

- Política de ajuste: es totalmente análoga a la del minorista, ahora el ajuste de inventario se hará sobre el inventario del distribuidor.

(26) Política ajuste = MAX (0, ajuste inventario distribuidor + ajuste cartera de pedidos del distribuidor).

- Política elemental: es la suma de las dos políticas anteriores.

(27) Política elemental = MAX (0, ajuste inventario distribuidor + ajuste cartera de pedidos del distribuidor + previsión demanda distribuidor).

- Política avanzada: incluye las compras en camino del distribuidor a la política elemental.

(28) Política avanzada = MAX(0, ajuste inventario distribuidor + ajuste cartera de pedidos del distribuidor + ajuste entregas en camino del fabricante + prevision demanda distribuidor).

Todo comportamiento estratégico tiene sus raíces en la propia empresa, por lo que se hace necesario buscar las causas del problema en la misma, así como las soluciones. Por este motivo trataremos diversas políticas que tiendan a atenuar el efecto látigo. En el apartado siguiente vamos a poder comprobar la existencia del efecto látigo y en las simulaciones que vamos a

efectuar trataremos tanto la infravaloración de la cadena de suministro (cuando no se tiene en cuenta el inventario en camino), como la diferencia entre acudir a la fuente de información o a un eslabón de la cadena en lo que a realización de pedidos se refiere (base de previsión en la demanda final o la demanda de los demás participantes del juego).

2. Modelo de simulación.

Después de haber explicado el problema y observar las relaciones entre las variables mediante diagramas causales y de flujo, abordaremos el problema del efecto látigo de una manera más visual a través de diferentes interfaces realizadas con el programa Vensim, que mostrarán los resultados de las diferentes políticas que hemos planteado para mitigar dicho efecto. En este apartado transformaremos los diagramas de flujo antes explicados en simulaciones, lo que significa que “a partir de las condiciones que describen operaciones de la empresa, se pueden examinar diferentes políticas de gestión así como los supuestos de mercado para determinar su efecto sobre el éxito de la empresa”. (Forrester, 1958, p.10).

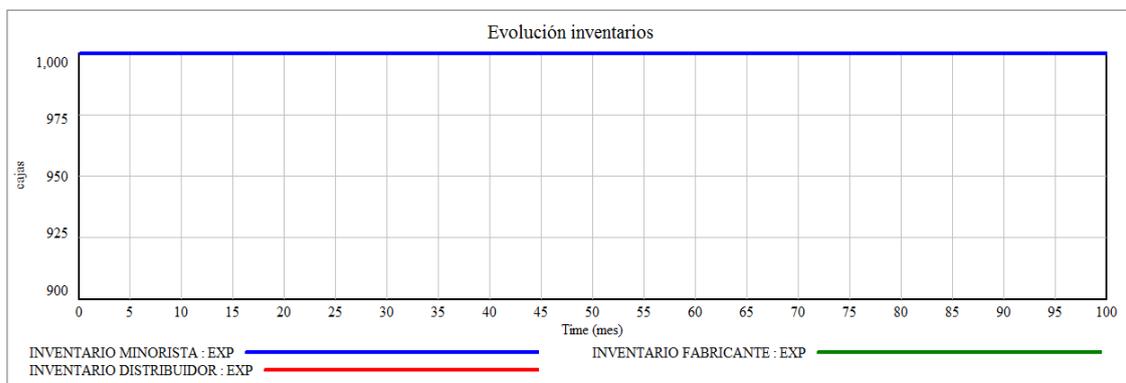
Por lo tanto, ha llegado la hora de preguntarnos ¿cómo influye un salto en la demanda a la aparición del efecto látigo? ¿Qué agentes son los más afectados por éste? ¿Influye la base de previsión tomada en las políticas en el efecto látigo? ¿Cuál es la política que mejor lo mitiga?

2.1. Situación de equilibrio.

Para comenzar nuestro análisis partimos del modelo en equilibrio, de manera que todos los inventarios de los participantes de la cadena se mantienen constantes y con una misma magnitud, como podemos ver en la figura 14. Para que se produzca este equilibrio, la demanda ha de ser constante y, por lo tanto, no se ha de producir ninguna alteración de la misma, en especial los escenarios de salto y de ruido. Al estar desactivados los escenarios, la demanda final toma el valor de la demanda base, que hemos fijado en 1000 cajas al mes. De este modo, todos los flujos del modelo son iguales y como consecuencia se produce el equilibrio porque todos los participantes compran lo que piden y venden lo que les es demandado. Además, para que se produzca el equilibrio que mencionamos, cada nivel tiene que tener como valor inicial su valor deseado, por ejemplo, el inventario tiene que tener un

inventario acumulado igual al inventario deseado de forma que no haya que realizar ajustes que perturben dicho equilibrio, como ya hemos mencionado en la explicación de las ecuaciones de los diagramas de flujo. Este paso es esencial para que las demostraciones que hagamos con posterioridad tengan credibilidad, ya que si el modelo partiera de una situación inestable no se podría explicar ni la causa ni la magnitud exacta del efecto látigo resultante, y no serían válidas las soluciones que se proponen con las políticas ya que no estaría claro qué parte del resultado de la simulación corresponde a la política y qué otra a la situación de inestabilidad.

Figura 14. Situación de equilibrio.



Fuente: elaboración propia.

2.2. Simulación de políticas.

Una vez conseguido el equilibrio, introduciremos un salto de la demanda con un porcentaje del cien por cien para recrear fielmente en el juego de la cerveza, que se producirá en el mes 5 de nuestra simulación. Al mismo tiempo plantearemos cuatro políticas posibles para mitigar el efecto látigo que se producirá; posteriormente, analizaremos y escogeremos la mejor. Con estas políticas actuamos sobre los puntos de apalancamiento en los que con poco esfuerzo se puede lograr un gran cambio. Para plantearlas, primero se debe adoptar una perspectiva global que, junto con nuestro modelo de simulación, permita afrontar el problema de una manera más completa y fiable. Una primera aproximación a dichas políticas es la siguiente:

- ❖ Política de ajuste: solamente tiene en cuenta el nivel de inventario y su ajuste.
- ❖ Política de previsión: tiene en cuenta la previsión de la demanda.

- ❖ Política elemental: tiene en cuenta tanto la previsión de la demanda como el ajuste de inventario.
- ❖ Política avanzada: añade a la política elemental el inventario en camino.

Con esta aclaración previa, vamos a analizar cada política de forma separada con las simulaciones correspondientes y observar la complejidad dinámica que se desprende. En primer lugar comenzaremos con la política avanzada por ser la que mejor aborda el efecto látigo, de este modo comprobaremos que el patrón de comportamiento que analizamos no se produce por las políticas planteadas.

2.2.1. Política avanzada.

La principal ventaja de esta política con respecto a las demás es que tiene en cuenta el inventario en camino impidiendo de este modo una infravaloración de la cadena de suministro. La importancia reside en que “la tendencia a infraponderar la línea de suministro es suficiente para causar el efecto látigo” (Croson et al., 2014, p. 177) y este error lo suelen cometer la mayoría de las compañías centrándose sólo en ajustar su inventario y hacer una previsión de la demanda en el mejor de los casos.

Por lo tanto, la ecuación de la política avanzada sería:

(29) Política avanzada = MAX (0, ajuste inventario + ajuste cartera de pedidos + ajuste inventario en camino + previsión demanda).

De esta ecuación se desprende que la política avanzada es aquella que para realizar las compras o emitir las órdenes de producción atiende a la previsión de la demanda (para que el inventario pueda responder ante la demanda futura), al ajuste de inventario (para que el inventario efectivo alcance los valores deseados) y al ajuste de inventario en camino (de modo que este nivel alcance también su valor deseado); todo ello, sin que se pueda ser negativo, ya que unas compras negativas en las que se produzcan devoluciones, o una producción negativa no tendrían sentido en nuestro estudio.

Sterman (1989) afirma:

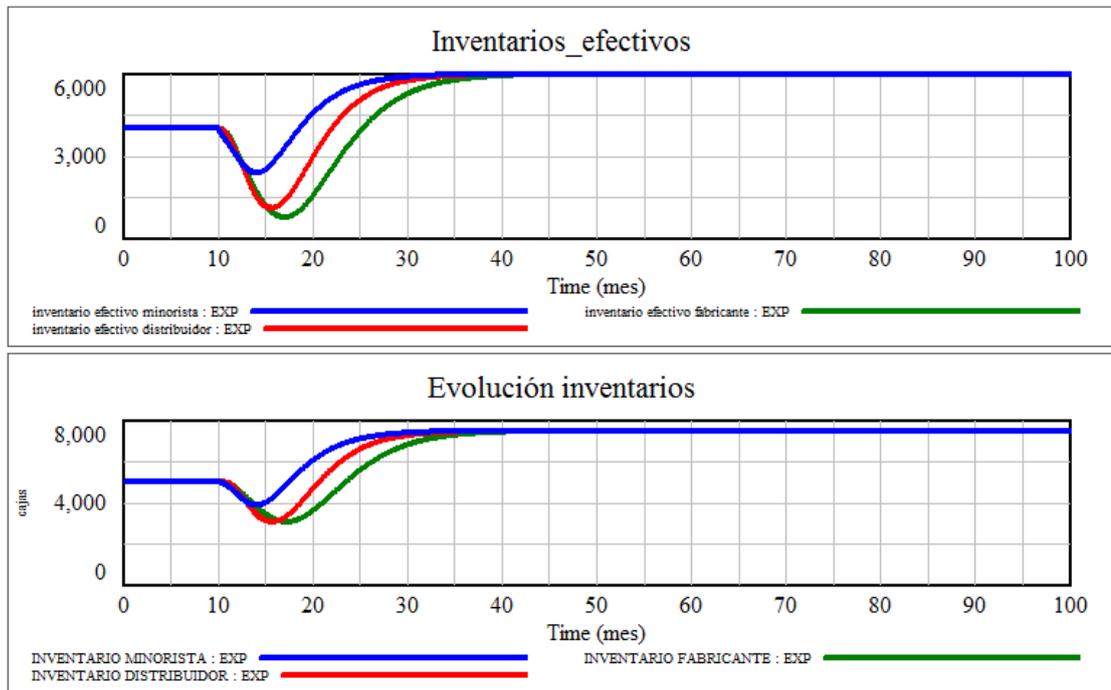
“La regla de decisión propuesta utiliza información local disponible para el decisor, y no supone que se tenga un conocimiento global de la estructura del

sistema. Se reconocen tres motivos para realizar pedidos: (1) pedir lo suficiente para reemplazar la pérdida esperada de inventario, (2) reducir la diferencia entre el inventario actual y el deseado, y (3) mantener un nivel adecuado de pedidos en camino.” (p.337).

Explicado este criterio de decisión, vamos a introducir el salto en la demanda que ya hemos explicado con anterioridad y aplicaremos esta política con una base de previsión en función de la demanda final para que no exista distorsión en la información, pudiendo ver los resultados en la figura 15.

a) Base de previsión: demanda final.

Figura 15. Evolución inventarios con política avanzada y base en demanda final.

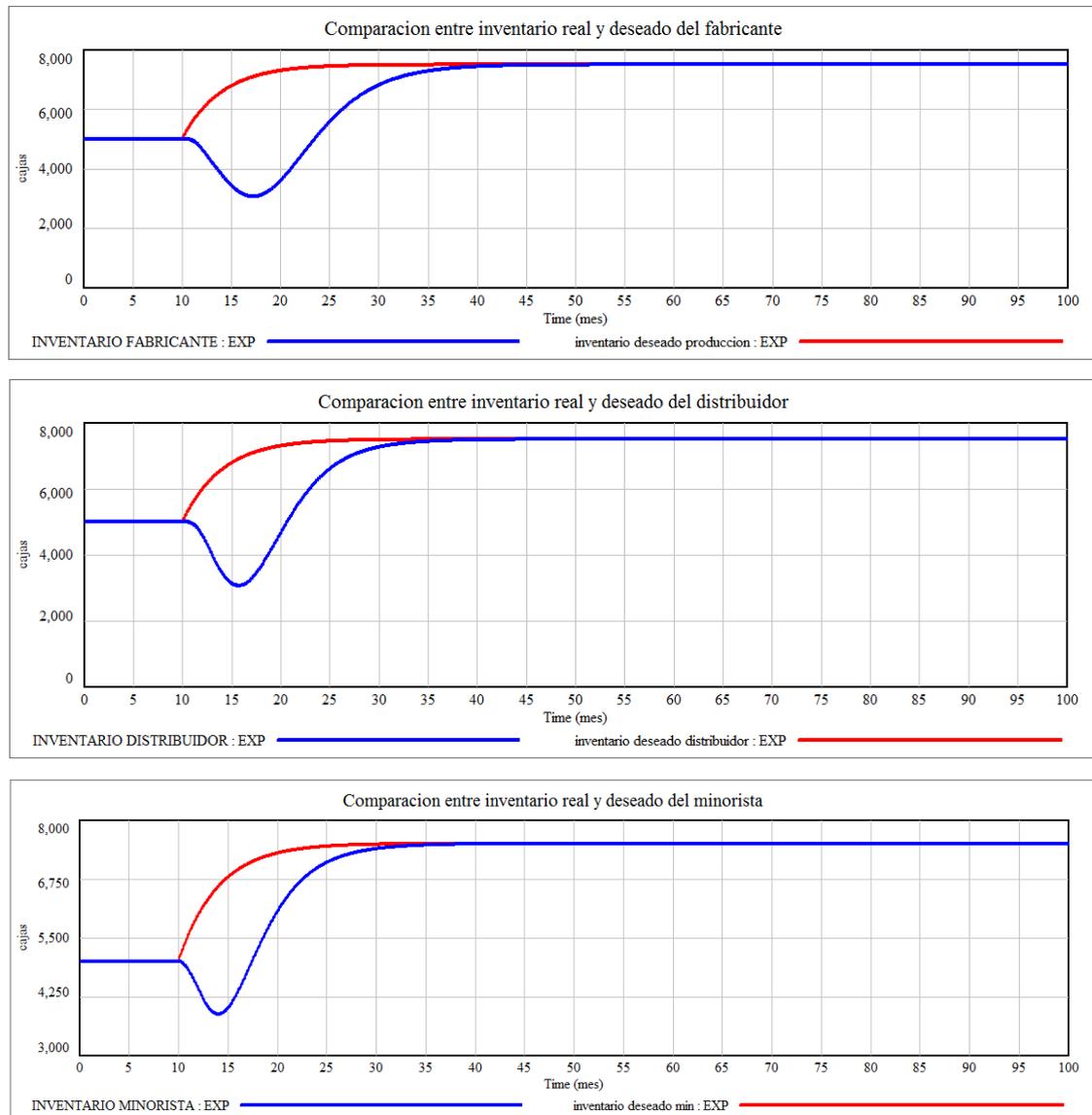


Fuente: elaboración propia.

Al producirse un salto de la demanda en el décimo mes, aumentan las carteras de pedidos y el inventario de todos los agentes cae, ya que al aumentar la demanda, se entregan más cajas de cerveza de las que se compran (las carteras de pedidos aumentan porque la política de previsión sólo funciona cuando la demanda es estable, y por lo tanto, no prevé que se vaya a producir un salto, de este modo los agentes no contaban con él y como consecuencia aumentan los pedidos pendientes de atender). Podemos ver con claridad que el inventario efectivo desciende mucho más que el

inventario en almacén, debido a que el inventario efectivo tiene en cuenta la cartera de pedidos (la cartera de pedidos resta del inventario de modo que para realizar las compras se tienen en cuenta el ajuste de inventario pero también el ajuste de la cartera de pedidos). Pero una parte de esta política es la política de ajuste, que funciona perfectamente ya que todos los agentes consiguen que su inventario real sea igual a su inventario deseado en un plazo relativamente corto (figura 16), ya que el tiempo de ajuste que hemos establecido es de 3 meses. Además, la base de previsión para hacer la previsión de la demanda, son los pedidos del consumidor final, lo que hace que la previsión sea exacta y sin sesgos ni amplificaciones. Por este motivo, después de ajustar el valor de inventario a su nivel objetivo los inventarios se estabilizan, ya que la demanda no vuelve a variar, permanece constante. La falta de oscilaciones también se produce porque se tiene en cuenta el inventario en camino, lo que deriva en que la infraponderación de la cadena de suministro se elimine y los inventarios no varíen como consecuencia de los retardos de las compras en camino de los agentes, ya que ahora se tienen en cuenta como parte del inventario total.

Figura 16. Comparación de inventarios reales y deseados de todos los agentes en política avanzada con previsión sobre demanda final.



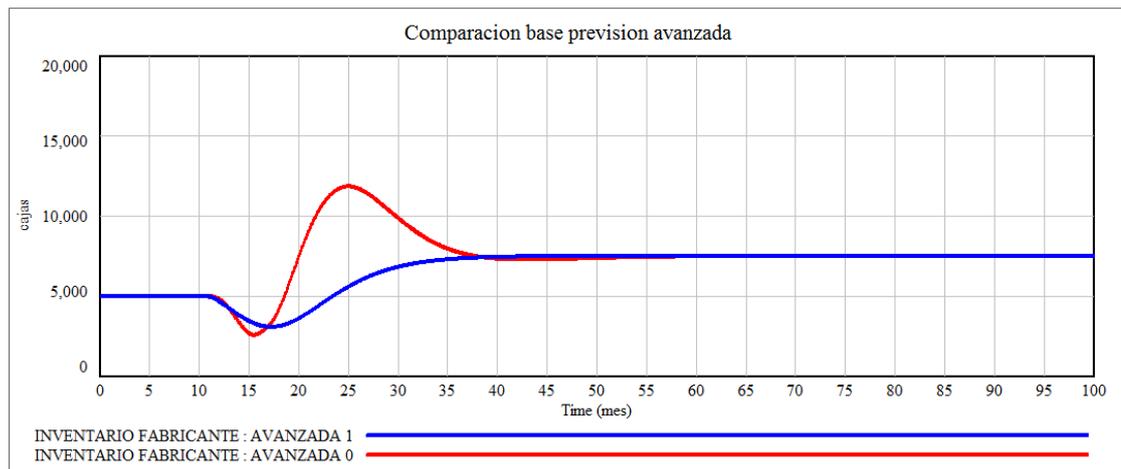
Fuente: elaboración propia.

b) Base de previsión: demanda de los agentes.

¿Qué pasaría ahora si la previsión de la demanda se realiza en función de la demanda de los agentes de la cadena? Por todo lo que hemos explicado hasta el momento, el fabricante sería el miembro que más sufriría las consecuencias de esta mala previsión, ya que acumularía los errores del minorista, del distribuidor y los suyos propios, siendo su inventario el más amplificado. Por este motivo, vamos a comparar el inventario del fabricante con una cobertura de 5 meses en la política avanzada y con un tiempo

promedio de 4 meses y un tiempo de ajuste de 3, de manera que lo único que cambie entre ambos inventarios sea la base de previsión que en una parte de la figura 17 será en función de la demanda final y en otro en función de la demanda de los componentes de la cadena de suministro.

Figura 17. Comparación de las bases de previsión en la política avanzada.



Fuente: elaboración propia.

Como podemos ver en la figura, la teoría expuesta concuerda con los resultados obtenidos, ya que con la base de previsión en función de la demanda de los agentes (avanzada 0, línea roja), aunque no se producen oscilaciones porque es la política avanzada y tiene en cuenta el inventario en camino, sí se produce una fuerte ampliación del inventario del fabricante por acumular los errores de previsión a lo largo de la cadena.

Por lo tanto, la política avanzada que hace su previsión tomando como base la demanda final, es la mejor de todas. Esto es así porque dicha política incluye a todas las demás y las mejora al incluir los inventarios en camino expresados en los diagramas de flujo como entregas en camino. Además hace la previsión en función de la demanda final para que no se produzcan sesgos al transmitir la información. Con todo esto, los retardos tienen un efecto menor al computar las entregas en camino y no se distorsiona la información para la previsión a la vez que se ajusta el inventario a su nivel deseado.

2.2.2. Política elemental.

La política elemental reúne en una sola las políticas de previsión y ajuste por lo que da muy buenos resultados gracias a que las deficiencias de la de previsión se suplen con las ventajas de la de ajuste y viceversa. De este modo podemos expresarla en forma de ecuación de la siguiente manera:

Política elemental = MAX (0, ajuste inventario producción + ajuste cartera pedidos + previsión demanda).

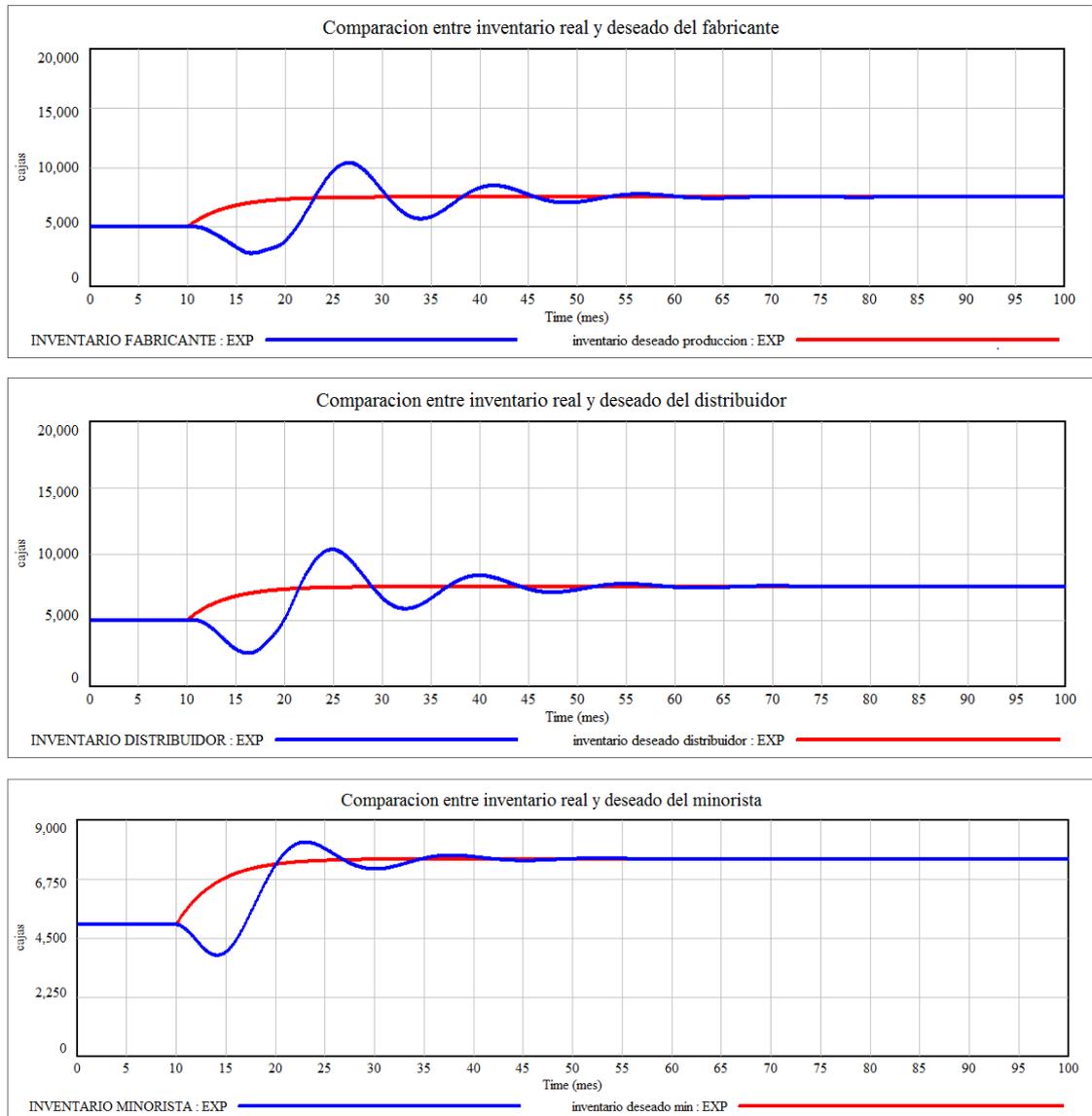
a) Base de previsión: demanda final.

Podemos ver que la política elemental con base de previsión en la demanda final, es una política aceptable ya que tiene en cuenta la previsión (calculada sin distorsiones en la información) y el ajuste de inventario.

El hecho de que la previsión se haga con base en los pedidos del consumidor final supone que la ampliación de inventario va a ser mucho menor ya que no se hacen previsiones sobre información sesgada, es decir, sobre pedidos que no se ajustan a la realidad de la demanda final.

Por otro lado, que esta política tenga en cuenta el inventario hace que éste acabe ajustándose a su nivel objetivo como vemos en la figura 18. En el momento en el que se produce el salto de la demanda, los inventarios bajan para atender al consumidor y por lo tanto, se alejan de su nivel deseado. Sin embargo posteriormente se van acercando al mismo e incluso lo sobrepasan, debido a que no se están teniendo en cuenta las compras en camino. Cuando éstas llegan el inventario crece por encima de su valor deseado y se compra en menor medida para realizar el ajuste hasta alcanzar el inventario objetivo. Es este aspecto el que supone el gran defecto de la política elemental.

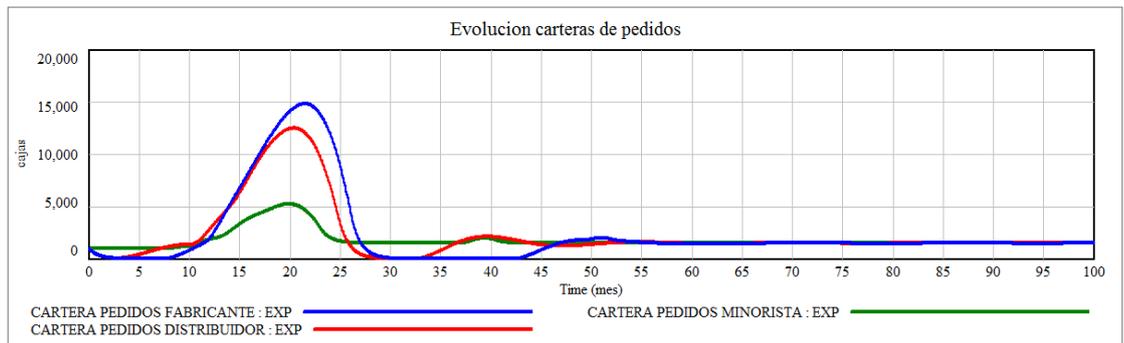
Figura 18. Comparación inventarios reales y deseados con política elemental y previsión según demanda final.



Fuente: elaboración propia.

Al no tener en cuenta las entregas en camino, se producirá una amplificación en los flujos de compras aumentando las carteras de pedidos. Aunque la previsión se haga sobre la demanda final y sea más exacta, los pedidos realizados en camino no se tienen en cuenta como parte del inventario, y puesto que el tomador de decisiones los ignora, aumenta sus compras. Esto se transmite a lo largo de la cadena de modo que el fabricante será el miembro que tenga una mayor cartera de pedidos. Posteriormente, cuando los pedidos comiencen a llegar se producirá el efecto inverso hasta que se acabe estabilizando. Esta situación se contempla en la figura 19.

Figura 19. Evolución de las carteras de pedidos en política elemental según demanda final.



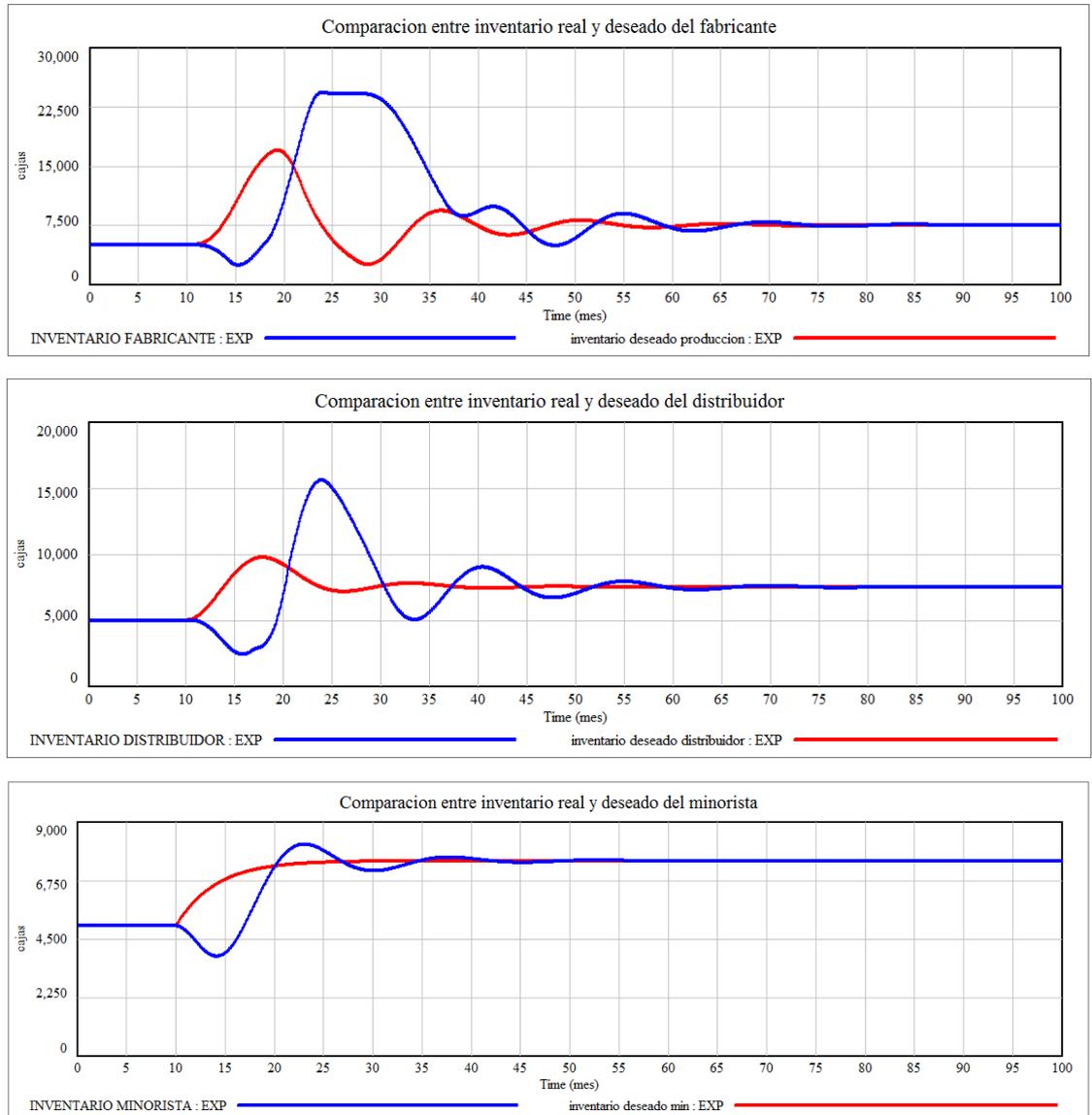
Fuente: elaboración propia.

A pesar de que los resultados obtenidos son aceptables, esta política no es perfecta ya que no tiene en cuenta el inventario en camino. Esto supone un gran problema, sobre todo, cuando el retardo del proveedor es alto ya que al haber retardos, se producen oscilaciones, y cuanto mayores sean dichos retardos mayores serán las oscilaciones que provoquen. Para solventar esta carencia se aplicaría la política avanzada que acabamos de explicar.

b) Base de previsión: las demandas de los participantes.

En la figura podemos ver los resultados en los inventarios de los participantes al aplicar la política elemental. En esta variante, los participantes del juego de la cerveza hacen sus previsiones de ventas en función de los pedidos que los otros miembros le hacen a cada uno de ellos, por lo que están acumulando los errores de previsión de los demás y por lo tanto el inventario se amplificará alcanzando su tope en el fabricante (puesto que es el más error tendrá acumulado). La amplificación de la que estamos hablando se puede observar claramente en la figura 20 en la que el valor del inventario aumenta según se asciende por la cadena hasta conseguir incrementar en más de la mitad el inventario del fabricante en comparación con esta política tomando como base la demanda final.

Figura 20. Inventarios reales y deseados en política elemental con previsión en función de la demanda de los agentes.



Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Política de previsión.

La política de previsión no tiene en cuenta para nada el inventario y su ajuste, sino que solamente se centra en la demanda de modo que cada mes se pide la cantidad de cajas que se espera vender. Por este motivo, su ecuación es la siguiente:

Política previsión = previsión demanda (la que haga cada eslabón de la cadena de suministro).

La política de previsión funciona cuando se conoce la demanda e incluso cuando se sufre alguna variación puntual, siempre que no sea permanente en el tiempo y el inventario de cobertura pueda soportar dicha variación.

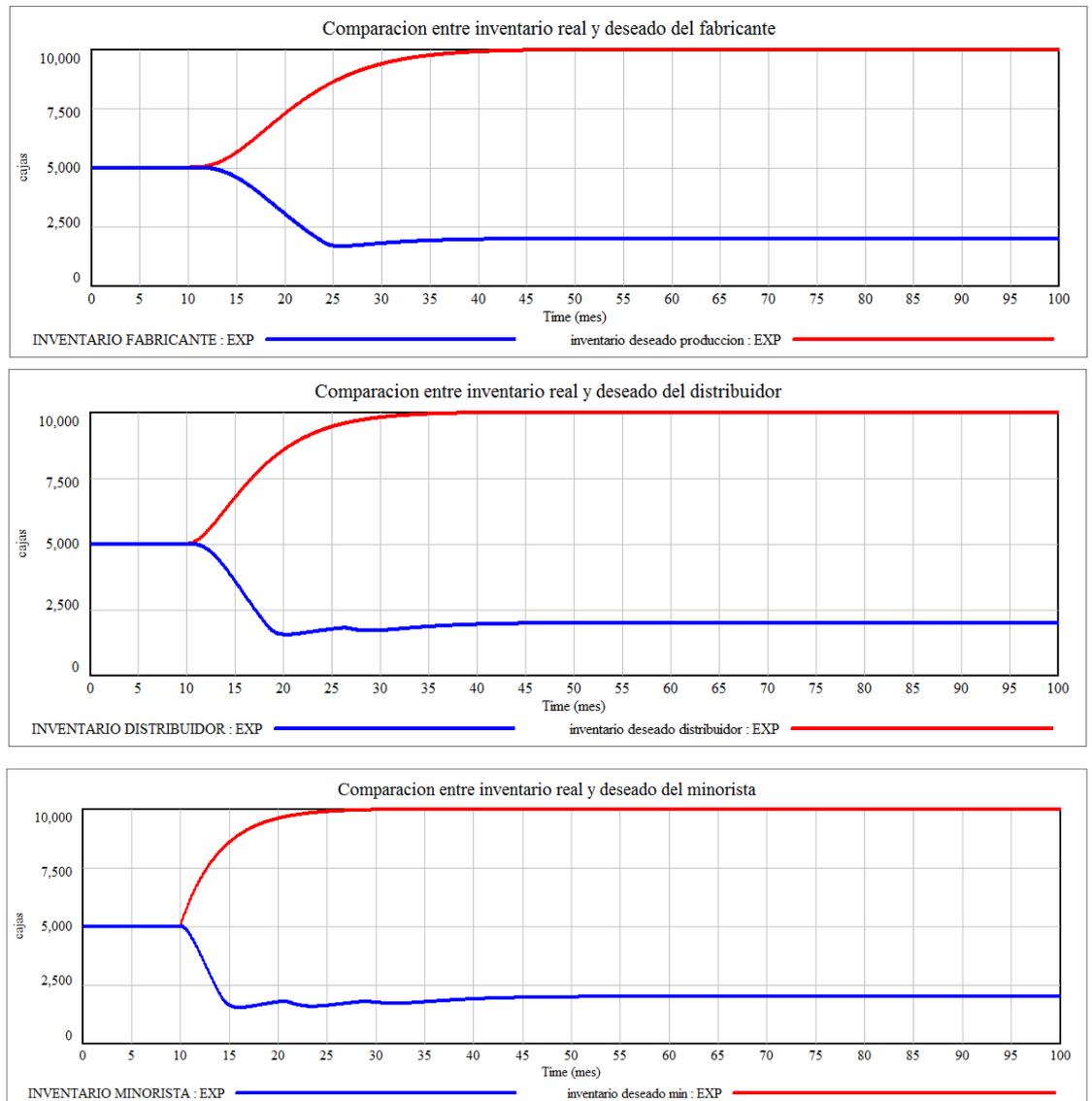
a) Base de previsión: las demandas de los participantes

Como en el juego de la cerveza la demanda sufre un salto, el minorista interpreta esa variación de la demanda (de forma correcta o no) y la plasma en los pedidos que realiza a su distribuidor. El distribuidor a su vez hace una previsión de la demanda del minorista y realiza encargos al fabricante, cuya orden de producción también es una previsión (que cada vez resulta más imprecisa según se asciende por la cadena de suministro), en este caso, de la demanda del distribuidor.

La previsión realizada, que ahora resulta errónea, hace que se acumule un inventario que jamás se ajusta (figura 21), ya que esta política no contempla un ajuste de inventario, y el nivel de ventas y entregas acabará dependiendo única y exclusivamente de lo que cada proveedor entregue en cada momento.

En resumen, esta política sólo es aconsejable en los casos en los que la demanda sea conocida y estable y el plazo de entrega del proveedor sea corto. Para compensar sus carencias, podría decidirse contar con un gran inventario de cobertura, aunque esta medida conllevaría altos costes y sería insuficiente a largo plazo.

Figura 21. Inventarios reales y deseados de los agentes en política de previsión en función de las demandas de los participantes.



Fuente: elaboración propia.

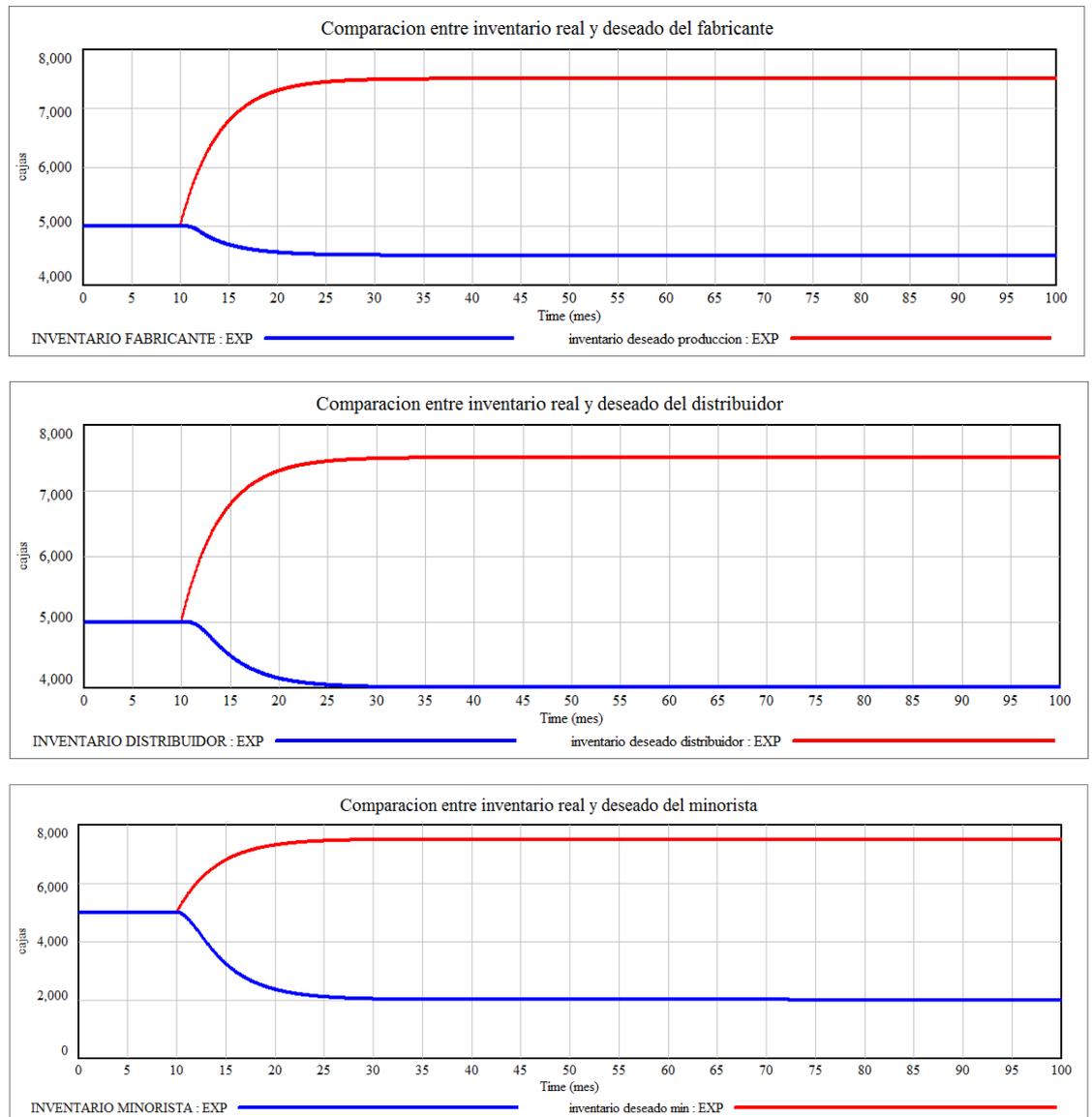
Además en inventario deseado aumenta porque se calcula en función de la demanda final, y al producirse un salto de la demanda, ésta se incrementa. De este modo, la distancia entre el inventario deseado y el inventario real determinan un déficit de inventario.

b) Base de previsión: demanda final.

Si la previsión de la demanda se hace sobre la demanda final, dicha previsión va a ser más exacta debido a que se acude a la fuente de

información (en el caso del minorista no varía, ya que siempre hace su previsión sobre la demanda final). Como la demanda final es una variable exógena, se elimina el efecto perverso que se produce al realizar la previsión sobre la demanda del agente inmediatamente inferior (figura 22). Al ser de este modo, se pierden las distorsiones en la información que se amplifican según se asciende por la cadena de suministro. Así, aunque los inventarios continúan descendiendo por no reponer las unidades entregadas al no existir el ajuste de inventario, el descenso es menor porque la previsión se hace sobre la demanda final que no está amplificada ni distorsionada, pero sigue existiendo un déficit de inventario.

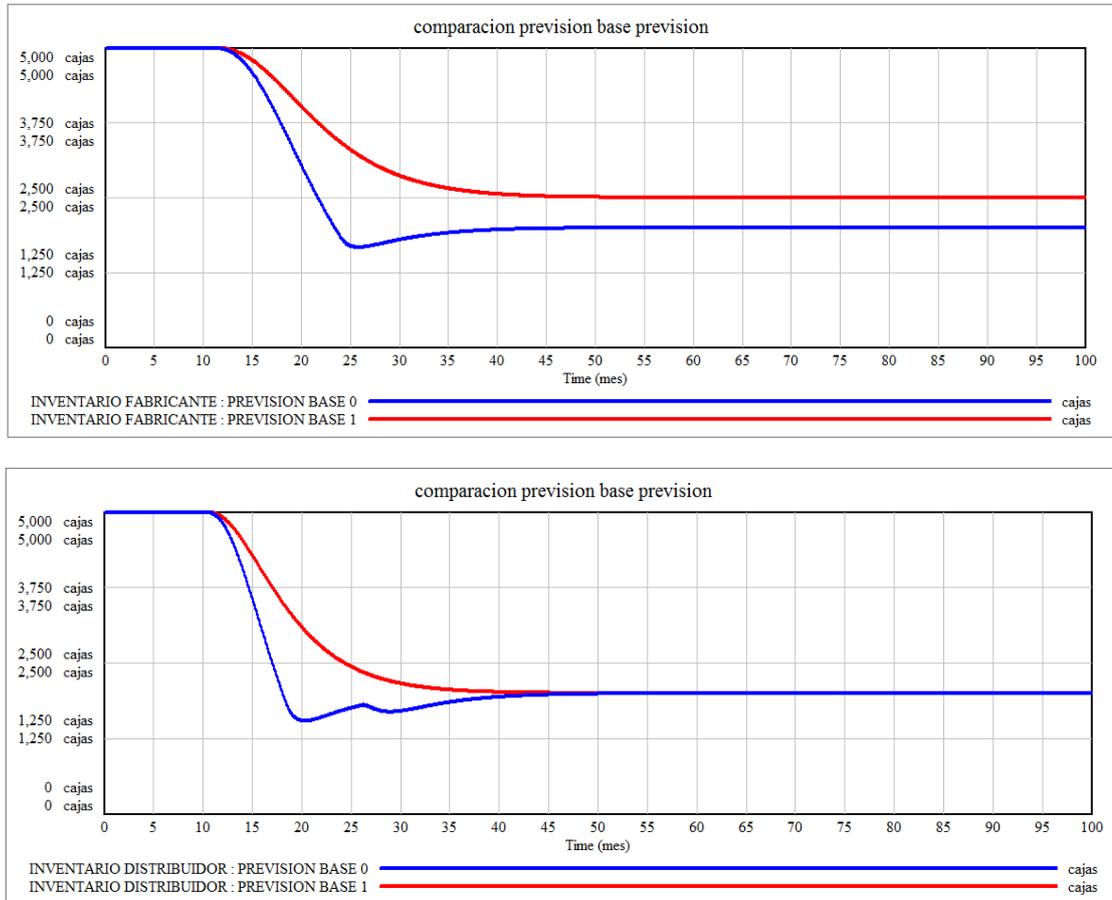
Figura 22. Inventarios reales y deseados con política de previsión según demanda final.



Fuente: elaboración propia.

La previsión basada en variables exógenas como la demanda final evitaría el efecto perverso derivado del gran componente endógeno que tienen los pedidos de la empresa, ya que están condicionadas por la eficacia de su política de compras. Para ver esto más claro, en la figura 23 comparamos la política de previsión con las dos bases de previsión en el inventario del fabricante y del distribuidor. No lo hacemos con el del minorista porque como ya hemos dicho, éste hace su previsión siempre en función de la demanda final.

Figura 23. Política de previsión según la base de previsión.



Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar, cuando la previsión se realiza sobre la demanda final el inventario se mantiene mucho más estable; éste desciende debido al salto, ya que al aumentar la demanda de forma repentina el inventario también se vacía de la misma manera. Como ya hemos explicado, después de producirse el salto en el momento 10 el inventario no se repone y al no producirse más variaciones en la demanda, por eso se estabiliza. Con la previsión en función de la demanda final se pierde menos inventario con respecto a su valor inicial porque este valor inicial del que se parte es la demanda final, para que se produzca el equilibrio, y al hacer la previsión sobre ésta, es lógico que se aproxime más a su valor deseado. En cambio la otra previsión está en función de los pedidos medios que reciben el distribuidor y el fabricante y por este motivo el inventario desciende, ya que el valor está alisado, incurriendo en pérdida de información y además se incurre en un mayor error en la previsión según se asciende en la cadena de suministro. Por este motivo la diferencia al realizar la previsión en función de

las dos bases explicadas que se refleja en el inventario es mayor en el caso del fabricante que en el del distribuidor.

Pero, ¿quiere decir esto que la política de previsión con base en la demanda final es la mejor posible?

En la figura anterior en la que aparece la simulación de la política de previsión con base en la demanda final podemos ver a simple vista que no existe efecto látigo, pero esto no quiere decir que la política sea óptima, es más, ni se acerca.

Podemos explicar la inexistencia del efecto látigo debido a que éste está causado por el ajuste continuo de inventario. Como se explicó previamente, la política de previsión solamente atiende a la demanda y no tiene en cuenta el inventario, por lo que los ajustes del mismo no le afectan y no se producen oscilaciones. Es por esto que ésta política está lejos de ser óptima y lo podemos comprobar en la figura 22 en la que vemos cómo el inventario obtenido con dicha política y base de previsión dista enormemente del inventario deseado. Aunque el nivel de inventario se estabilice, si lo hace tan por debajo del nivel que la empresa desea, la política no es aplicable.

Finalmente, la política de previsión no tiene sentido a la hora de realizar labores de gestión de inventario, ya que se olvida del mismo sin ajustarlo ni reponerlo, sólo se centra en la previsión que se haga en cada momento de la demanda.

2.2.3. Política de ajuste.

Con esta política se realizan pedidos para ajustar el inventario a su nivel deseado con un tiempo de ajuste de inventario determinado (que determinará la rapidez con la que el nivel se ajusta a su objetivo), es decir, no se tiene en cuenta la demanda sino sólo los ajustes de inventario. Por este motivo la ecuación sería la siguiente con el ajuste que corresponda a cada participante de la cadena:

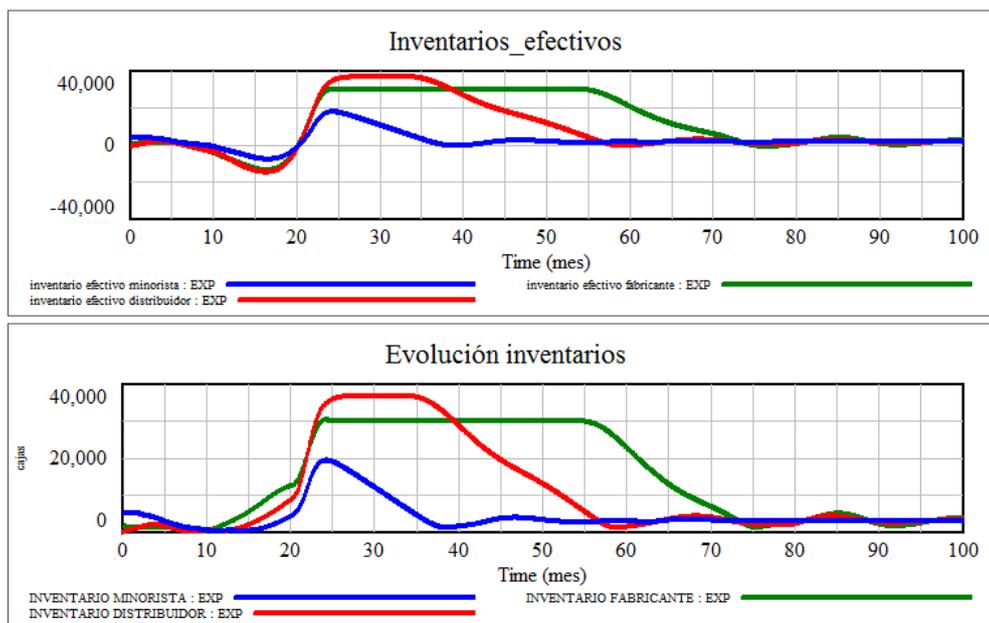
Política de ajuste = MAX (0, ajuste inventario + ajuste cartera pedidos).

a) Base de previsión: las demandas de los participantes.

Esta política tiende a producir grandes oscilaciones por no equilibrar el inventario en función de la demanda sino únicamente en función de sus

desajustes como podemos observar en la figura 24. Ya antes de producirse el salto existen oscilaciones, es decir, antes del momento 5 en el que la demanda era constante y por lo tanto había una situación de equilibrio. Por este motivo se puede afirmar que la política de ajuste no funciona ante ninguna situación. Las oscilaciones que podemos observar tienen lugar porque para ajustar sus inventarios el minorista pide más al distribuidor, éste al fabricante, y este último aumenta la fabricación. Como el salto de la demanda consiste en un primer crecimiento y después se mantiene, se genera acumulación de inventario. Para ajustar el mismo, se vuelve a producir un efecto en cadena en el que el minorista deja de hacer pedidos al distribuidor, éste al fabricante y el fabricante, en el caso más extremo, para las máquinas con el objetivo de dejar de producir por un tiempo hasta estabilizar el inventario. Esta dinámica, que se repite a lo largo del tiempo con los retardos obvios, es la que produce el efecto látigo que vemos en la figura, además de no tener en cuenta tampoco el inventario en camino. Es necesario resaltar que la acumulación de stock del minorista ha de ser menor que la del distribuidor, ya que el minorista posiblemente pide lo que necesita más otra cantidad o cobertura de inventario, el distribuidor hace lo mismo y el fabricante también, por lo que los pedidos se ven artificialmente inflados, sobre todo en los últimos eslabones.

Figura 24. Comparación inventario efectivo e inventario con política de ajuste.



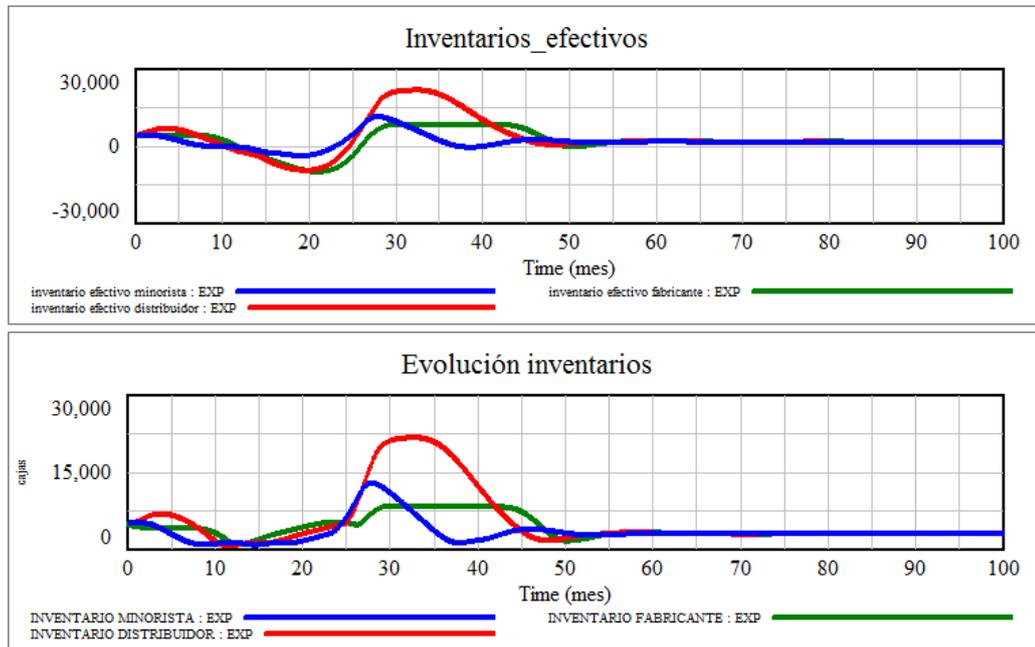
Fuente: elaboración propia.

Esta política no funciona en la gestión del inventario, puesto que parece no tener sentido que para amortiguar las variaciones de la demanda (función del inventario) no se tenga en cuenta dicha demanda. Por este motivo cabría pensar que no tiene sentido comparar los resultados de hacer la previsión en función de la demanda final o de la demanda de los agentes ya que en esta política, como ya hemos dicho, no se tiene en cuenta la demanda. Sin embargo, la política de ajuste ajusta el inventario a su nivel deseado y en este nivel deseado sí que interviene la previsión de la demanda, ya que como la ecuación del nivel deseado de inventario es la cobertura de inventario multiplicada por la previsión de la demanda.

b) Base de previsión: demanda final.

Con la base de previsión en función de la demanda final podemos ver en la figura 25 que se reduce considerablemente la ampliación en el inventario, sobre todo del fabricante. El fabricante es el miembro de la cadena que más nota el cambio debido a que al realizar su previsión en función de los pedidos del distribuidor acumulaba los errores de éste y del minorista, además de los suyos propios. Ahora con la previsión en función de los pedidos del consumidor final la previsión es mucho más exacta y no hay tanta amplificación del inventario deseado, por lo que el ajuste de inventario necesario será menor y por lo tanto su inventario. Aunque los resultados son mucho mejores con esta base, sigue habiendo oscilaciones provocadas por no tener en cuenta el inventario en camino y no incluir la previsión de la demanda como variable a la hora de formular la política.

Figura 25. Comparación inventarios efectivos e inventarios en política de ajuste con base de previsión en la demanda final.



Fuente: elaboración propia.

Como podemos ver, ninguna de las anteriores políticas resultaría aplicable. No es lógico realizar compras sin tener en cuenta la demanda, que es lo que sucede con la política de ajuste ya que solamente se ajusta el inventario a través de las compras, pero se olvida de los pedidos y no realiza ningún tipo de previsión de la demanda, lo que provoca grandes fluctuaciones en la variable nivel. Tampoco resulta lógico realizar compras centrándose únicamente en las previsiones de demanda sin atender al inventario que tenemos, ya que es muy fácil que la previsión no sea correcta y aun siéndolo no se alcanzaría el nivel de inventario deseado como acabamos de comprobar. Por este motivo, estas dos primeras políticas se descartarían en cualquier proceso de selección de política de compras.

2.2.5. Elección de la política.

Una vez planteadas las diferentes políticas vemos que la más eficaz es aquella en la que se tiene en cuenta el inventario efectivo, el inventario en camino y la demanda, ya que permite el ahorro de costes de rotura de stocks y de inventario. Además de escoger la política avanzada, es muy importante destacar que la base de previsión se ha de hacer sobre la demanda final para no acumular los diferentes

errores que se van propagando a lo largo de la cadena de suministro por los diferentes agentes que intervienen en ella.

Esto último coincide con una de las conclusiones de Croson y Donohue (2005), en la que después de sus investigaciones afirman que compartir la información del inventario de los miembros que se sitúan en los eslabones inferiores es más eficaz en la reducción del comportamiento látigo que compartir información similar de los que se sitúan más arriba (p. 258). Esto ocurre porque en la parte inferior de la cadena se encuentra la información que viene directamente del consumidor final, sin sesgos derivados de una mala interpretación. Por lo tanto, si se acude a la fuente, las previsiones son mucho más realistas que si se hacen dichas previsiones sobre los datos del agente inmediatamente inferior. Por este motivo es por el que un fallo en la parte inferior de la cadena es más dañino que otro que se produzca a un nivel superior (Chen, 1999, p.1089) como podemos deducir de nuestras simulaciones.

La problemática de los retardos no la podemos pasar por alto. Podemos observar en nuestras simulaciones anteriores cómo por consecuencia de los retardos de información en el proceso de realización y recepción de pedidos, y de los retardos materiales al entregar los pedidos o producirlos (en el caso del fabricante) se produce inevitablemente un comportamiento oscilatorio. Este comportamiento se volvería estable si con el paso del tiempo tanto la demanda como los plazos de entrega y transporte fueran constantes y conocidos, ya que a ojos del cliente acabarían por parecer inexistentes.

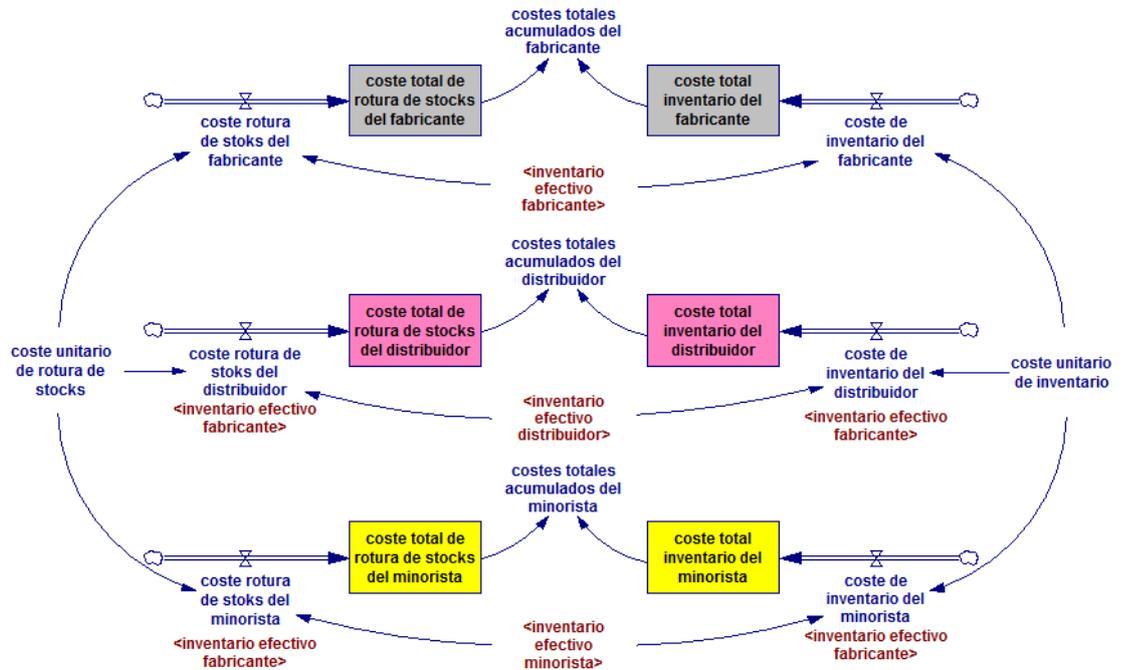
De este modo, comprobamos la importancia de adoptar una visión global con la que todos los miembros del canal de distribución salen beneficiados.

2.2.6. Ahorro en costes.

Como hemos descartado las políticas de ajuste y de previsión por su ineficacia vamos ahora a realizar un análisis de los costes de inventario y de rotura de stocks en la política elemental y avanzada (para ver la diferencia entre tener en cuenta el inventario en camino o ignorarlo) con sus diferentes bases de previsión (para ver el efecto de la información) en un

periodo de 50 meses para que la tendencia se aprecie mejor. Primero aclararemos a los que nos referimos con cada coste (figura 26).

Figura 26. Estructura de costes.



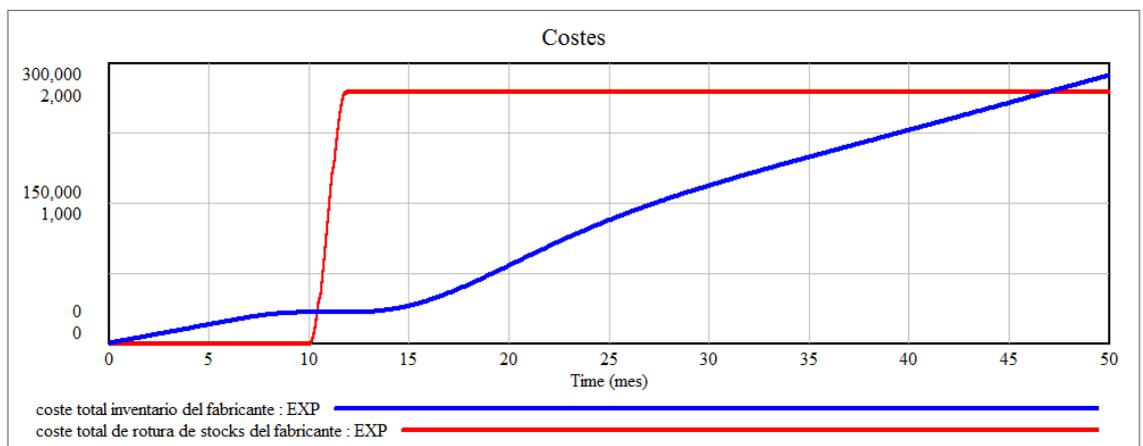
Fuente: elaboración propia.

- ❖ El coste total de inventario representa las unidades monetarias que cuesta tener el stock en almacén, de modo que cuanto mayor sea el inventario mayor será el coste total de inventario.
- ❖ El coste total de rotura de stocks refleja el coste por pérdida de clientes. Esta pérdida se puede producir por numerosas causas como por ejemplo, por un aumento de precio que conlleve una disminución del atractivo del producto. No es el objeto de este trabajo analizar estas causas, por lo que simplemente contemplamos el coste total de rotura de stocks.

Como podemos ver en la figura 27, el coste total de rotura de stocks del fabricante aumenta con el salto, ya que disminuye su inventario efectivo hasta valores negativos como se parecía en la figura 28 –línea azul- (por una parte baja el stock en almacén y por otra, aumenta la cartera de pedidos, lo que hace que el inventario efectivo disminuya más que el inventario en almacén). Posteriormente el inventario efectivo aumenta porque, debido a las compras realizadas se atienden los pedidos, lo que significa que la cartera de pedidos disminuye (resta menos del inventario efectivo y por lo tanto lo hace aumentar). Además

también aumenta el inventario, lo que también incrementa el inventario efectivo. Tanto la cartera de pedidos como el inventario del fabricante se estabilizan, debido a que la demanda también lo hace, por lo que ambas fuerzas hacen que el coste total de ruptura de stock también se estabilice en 2.000 unidades monetarias. En cuanto al coste total de inventario, que refleja el coste del inventario acumulado (el coste total asciende linealmente porque se estabiliza), hay un ahorro en costes de unas 100.000 unidades monetarias al hacer la previsión en base a la demanda final, esto se debe a que no se acumulan los errores de los demás agentes y por lo tanto no hay tanta acumulación de inventario.

Figura 27. Costes con política avanzada. Previsión con base en demanda de los agentes.



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Inventarios efectivos.

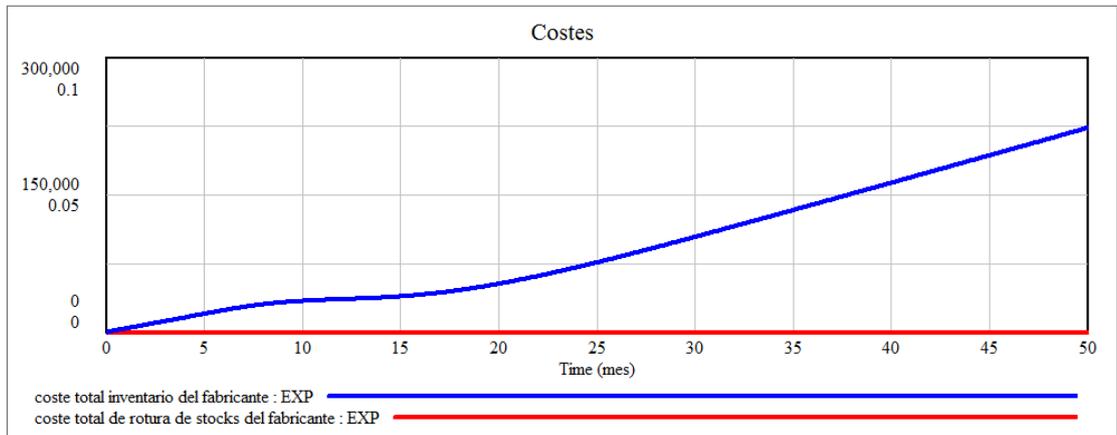


Fuente: elaboración propia.

Si en cambio, la base de previsión está en función de la demanda final, no hay costes de ruptura de stock (figura 29) –línea roja-, ya que no hay distorsiones de información y el inventario efectivo desciende en menor medida como podemos ver en la figura 28 con la línea

roja que corresponde a la política avanzada con la previsión en la demanda final. Estos resultados apoyan nuestro análisis anterior, ya que cuando no hay distorsiones de información y se adopta una perspectiva global, el ahorro de costes es significativo.

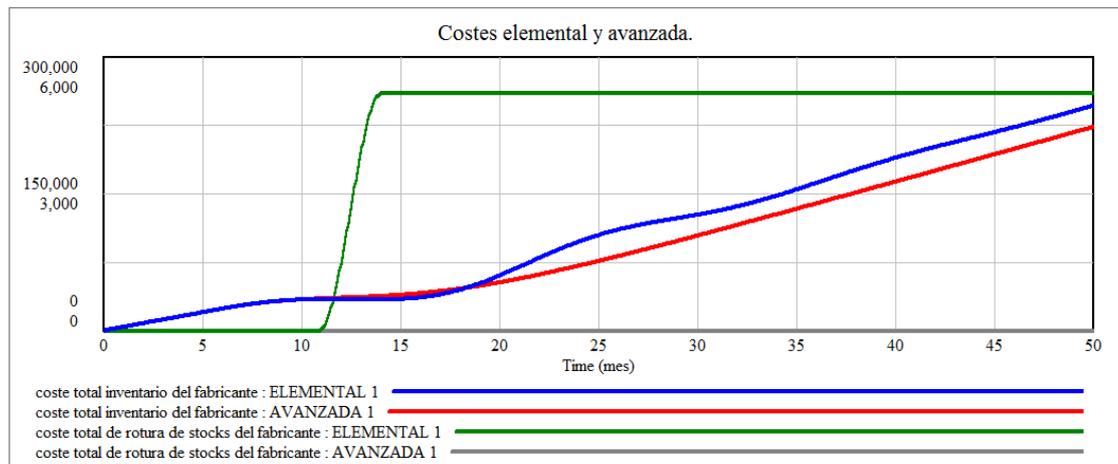
Figura 29. Costes con política avanzada. Previsión con base en demanda final.



Fuente: elaboración propia.

Compararemos seguidamente las políticas elemental y avanzada siendo la base de previsión la demanda final para ver el efecto de tener en cuenta el inventario en camino en términos de costes. Como vemos en la figura 30, la política elemental supone un coste adicional de rotura de stocks de 6.000 unidades monetarias, además de aumentar el coste de inventario porque como no se tiene en cuenta el inventario en camino se producirán retardos que afectarán a la estructura global, aunque la previsión sea correcta, como ya hemos explicado en la elaboración de las políticas.

Figura 30. Comparación de costes en políticas avanzada y elemental.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

En este estudio del juego de la cerveza hemos tratado de resolver el efecto látigo. Para ello, hemos comprendido sus causas y la importancia que tienen la información y los retardos a la hora de realizar políticas y tomar decisiones en el ámbito de una empresa. También hemos establecido las relaciones de las variables más importantes a través de digramas causales y de flujo para poder construir un modelo de simulación. Una vez construido el modelo, hemos planteado diferentes políticas, y para eliminar la amplificación y la oscilación que caracteriza el efecto látigo, la mejor ha sido la política avanzada con la base de previsión en función de la demanda final. De este modo se elimina la amplificación al no existir distorsiones en la información y también se eliminan los retardos al tener en cuenta las compras en camino a la hora de tomar decisiones sobre los pedidos.

Bibliografía

- Akkermans, H., & Dellaert, N. (2005). The rediscovery of industrial dynamics: The contribution of system dynamics to supply chain management in a dynamic and fragmented world. *System Dynamics Review*, 21(3), 173-186.
- Chen, F. (1999). Decentralized supply chains subject to information delays. *Management Science*, 45(8), 1076-1090.
- Croson, R. (2014). Order stability in supply chains. *Production and Operations Management*, 23(2), 176-196.
- Croson, R., & Donohue, K. (2005). Upstream versus downstream information and its impact on the bullwhip effect. *System Dynamics Review*, 21(3), 249-260.
- García Rodríguez, R. M. (2013). *Introducción al análisis sistémico*.
- García Rodríguez, R. M. (s.f.). *Política de compras y modelo de inventario*.
- González -Busto Múgica, B., & Universidad de Oviedo. (1999). *La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación*. Oviedo: Universidad de Oviedo, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.
- Lee, H. L. (1997). Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science*, 43(4), 546-558.
- López Fernández, R. (2004). *Logística comercial: Gestión comercial y marketing*. Madrid: Thomson-Paraninfo.

- Maani, K. E., Cavana, R. Y. (2007). *Systems Thinking, System Dynamics: Managing Change and Complexity*. (2 ed.). Nueva Zelanda: Pearson Education New Zealand.
- Riddalls, C. E., & Bennett, S. (2002). The stability of supply chains. *International Journal of Production Research*, 40(2), 459-475.
- Senge, P. M. (1990). *La Quinta Disciplina. El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*. Barcelona: Ediciones Juan Granica, S.A.
- Sterman, J. D. (1989). Misperceptions of feedback in dynamic decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 43(3), 301-335.
- Van Landeghem, H., Vanmaele, H. (2002). Robust planning: A new paradigm for demand chain planning. *Journal of Operations Management*, 20(6), 769-783.
- Vázquez Casielles, R., Trespalacios Gutiérrez, J. A., Álvarez Álvarez, B., & Bello Acebrón, L. (2006; 2009). *Estrategias de distribución comercial: Diseño del canal de distribución y relación entre fabricantes y detallistas*. Madrid: Thomson.

Anexo 1. Horas dedicadas.

Para la realización de mi trabajo de fin de grado he dedicado un total de 544 horas, que he especificado en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tareas realizadas para el TFG.

LISTA DE TAREAS REALIZADAS		TFG 2014
TAREA	HORAS DEDICADAS APROXIMADAS	
Asistencia a curso TFG	6	
Asistencia a clases simulación	48	
Aprendizaje simulación	60	
Lectura material	50	
Elaboración del modelo	240	
Elaboración del proyecto	140	
Total de horas dedicadas	544	

He asistido a clases de la asignatura optativa de simulación y juegos de empresa de manera voluntaria para aprender a elaborar mi propio modelo y poder utilizarlo en mi TFG. Las clases empezaron en febrero y duraron hasta mayo, siendo de 3 horas a la semana. Así mismo, el aprendizaje de la simulación engloba tutorías y la elaboración de ejercicios de la optativa por mi cuenta (incluyendo las horas dedicadas a leer material sobre cómo simular). La tarea de lectura de material, está compuesta por todas las horas dedicadas a leer artículos y libros a la hora de informarme sobre el tema de mi trabajo, tanto de material que he utilizado como aquel que he desechado después de leerlo. Para la elaboración del modelo ha sido necesario reformular su estructura varias veces para su correcto funcionamiento, además de plantear las ecuaciones y corregir los errores de unidades. La elaboración del proyecto ha sido la segunda tarea en la que he invertido más horas (empezando a redactarlo en marzo y acabando en julio con una media de una hora al día).

Anexo 2. Ecuaciones del modelo de simulación.

ajuste cartera de pedidos del distribuidor = (Cartera Pedidos Distribuidor - cartera de pedidos deseada del distribuidor)/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste cartera pedidos del fabricante = (Cartera Pedidos Fabricante - cartera de pedidos deseada del fabricante)/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste cartera pedidos del minorista = (Cartera Pedidos Minorista - cartera de pedidos deseada del minorista)/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste compras en camino min = (compras en camino deseadas min - Entregas En Camino Distribuidor)/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste entregas en camino del distribuidor = (entregas en camino deseadas del distribuidor - Entregas En Camino Distribuidor)/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste entregas en camino del fabricante = (entregas en camino deseadas del fabricante - Entregas En Camino Fabricante)/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste inventario distribuidor = ((inventario deseado distribuidor - Inventario Distribuidor))/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste inventario fabricante = (inventario deseado produccion - Inventario Fabricante)/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste inventario minorista = (inventario deseado min - Inventario Minorista)/TIEMPO DE AJUSTE
ajuste produccion en proceso = (produccion en proceso deseada - Produccion En Proceso)/TIEMPO DE AJUSTE
cartera de pedidos deseada del distribuidor = prevision demanda distribuidor * COBERTURA NORMAL CARTERA DE PEDIDOS
cartera de pedidos deseada del fabricante = prevision demanda fabricante * COBERTURA NORMAL CARTERA DE PEDIDOS
cartera de pedidos deseada del minorista = prevision demanda minorista * COBERTURA NORMAL CARTERA DE PEDIDOS
Cartera Pedidos Distribuidor = INTEG(pedidos al distribuidor - despachos al minorista, demanda final)
"cartera pedidos f. inicial" = demanda final
Cartera Pedidos Fabricante = INTEG(pedidos al fabricante - despachos al distribuidor, "cartera pedidos f. inicial")
Cartera Pedidos Minorista = INTEG(pedidos al minorista - despachos al cliente final, demanda final)
COBER INVENTARIO MINORISTA = 5
COBERTURA INVENTARIO DISTRIBUIDOR = 5
COBERTURA INVENTARIO FABRICANTE = 5
COBERTURA NORMAL CARTERA DE PEDIDOS = 1
compras en camino deseadas min = PLAZO DE TRANSPORTE * demanda final
DEMANDA BASE = 1000
demanda final = DEMANDA BASE * (1 + salto + ruido + pulso)
despachos al cliente final = MIN (Inventario Minorista , Cartera Pedidos Minorista)
despachos al distribuidor = MIN (Cartera Pedidos Fabricante , Inventario Fabricante)
despachos al minorista = MIN (Inventario Distribuidor , Cartera Pedidos Distribuidor)

Entregas Efectivas Del Distribuidor = DELAY FIXED (c
 Entregas Efectivas Del Fabricante = DELAY FIXED (despachos al distribuidor, PLAZO DE TRANSORTE, demanda final)
 entregas en camino deseadas del distribuidor = prevision demanda minorista * PLAZO DE TRANSPORTE
 entregas en camino deseadas del fabricante = PLAZO DE TRANSPORTE * prevision demanda distribuidor
 Entregas En Camino Distribuidor = INTEG(despachos al minorista - Entregas Efectivas Del Distribuidor, compras en camino deseadas min)
 Entregas En Camino Fabricante = INTEG(despachos al distribuidor - Entregas Efectivas Del Fabricante, entregas en camino deseadas del fabricante)
 FINAL TIME = 100
 INITIAL TIME = 0
 inventario deseado distribuidor = COBERTURA INVENTARIO DISTRIBUIDOR * prevision demanda distribuidor
 inventario deseado min = COBER INVENTARIO MINORISTA * prevision demanda minorista
 inventario deseado produccion = COBERTURA INVENTARIO FABRICANTE * prevision demanda fabricante
 Inventario Distribuidor = INTEG(Entregas Efectivas Del Fabricante - despachos al minorista, inventario deseado distribuidor)
 inventario efectivo distribuidor = Inventario Distribuidor - Cartera Pedidos Distribuidor
 inventario efectivo fabricante = Inventario Fabricante - Cartera Pedidos Fabricante
 inventario efectivo minorista = Inventario Minorista - Cartera Pedidos Minorista
 Inventario Fabricante = INTEG(Produccion Terminada - despachos al distribuidor, inventario deseado produccion)
 Inventario Minorista = INTEG(Entregas Efectivas Del Distribuidor - despachos al cliente final, inventario deseado min)
 MOMENTO SALTO = 5
 orden produccion = MAX (0, (((SW POLITICAS - 2) * (SW POLITICAS - 3) * (SW POLITICAS - 4)) / (-6)) * prevision demanda fabricante)
 + MAX (0, (((SW POLITICAS - 1) * (SW POLITICAS - 3) * (SW POLITICAS - 4)) / 2) * (ajuste inventario fabricante + ajuste cartera pedidos del fabricante +
 prevision demanda fabricante))
 + MAX (0, (((SW POLITICAS - 2) * (SW POLITICAS - 1) * (SW POLITICAS - 4)) / (-2)) * (ajuste inventario fabricante + ajuste cartera pedidos del fabricante))
 + MAX (0, (((SW POLITICAS - 2) * (SW POLITICAS - 3) * (SW POLITICAS - 1)) / 6) * (ajuste inventario fabricante + ajuste cartera pedidos del fabricante +
 ajuste produccion en proceso + prevision demanda fabricante))
 pedidos al distribuidor = MAX (0, (((SW POLITICAS - 2) * (SW POLITICAS - 3) * (SW POLITICAS - 4)) / (-6)) * prevision demanda minorista)
 + MAX (0, (((SW POLITICAS - 1) * (SW POLITICAS - 3) * (SW POLITICAS - 4)) / 2) * (ajuste inventario minorista + ajuste cartera pedidos del minorista +
 prevision demanda minorista))
 + MAX (0, (((SW POLITICAS - 2) * (SW POLITICAS - 4)) / (-2)) * (ajuste inventario minorista + ajuste cartera pedidos del minorista))
 + MAX (0, (((SW POLITICAS - 2) * (SW POLITICAS - 3) * (SW POLITICAS - 1)) / 6) * (ajuste inventario minorista + ajuste cartera pedidos del minorista +
 ajuste entregas en camino del distribuidor + prevision demanda minorista)))
 pedidos al fabricante = MAX (0, (((SW POLITICAS - 2) * (SW POLITICAS - 3) * (SW POLITICAS - 4)) / (-6)) * prevision demanda distribuidor)
 + MAX (0, (((SW POLITICAS - 1) * (SW POLITICAS - 3) * (SW POLITICAS - 4)) / 2) * (ajuste inventario distribuidor + ajuste cartera de pedidos del distribuidor

```

+ prevision demanda distribuidor))
+ MAX ( 0, ( ( ( SW POLITICAS - 2) * ( SW POLITICAS - 1) * ( SW POLITICAS - 4) ) / (-2) ) * ( ajuste inventario distribuidor + ajuste cartera de pedidos del
distribuidor) )
+ MAX ( 0, ( ( ( SW POLITICAS - 2) * ( SW POLITICAS - 3) * ( SW POLITICAS - 1)) / 6) ) * ( ajuste inventario distribuidor + ajuste cartera de pedidos del distribuidor +
ajuste entregas en camino del fabricante + prevision demanda distribuidor ) )
pedidos al minorista = demanda final
pedidos medios al distribuidor = SMOOTHI ( pedidos al distribuidor , TIEMPO PROMEDIO, pedidos al distribuidor )
pedidos medios del distribuidor = SMOOTHI ( pedidos al fabricante , TIEMPO PROMEDIO, pedidos al fabricante )
PLAZO DE TRANSPORTE = 2
PLAZO PRODUCCION = 2
PORCENTAJE SALTO = 50
prevision demanda distribuidor = pedidos medios al distribuidor * ( 1 - SW PREVISION) + prevision demanda minorista * SW PREVISION
prevision demanda fabricante = pedidos medios del distribuidor * ( 1 - SW PREVISION) + prevision demanda minorista * SW PREVISION
prevision demanda minorista = SMOOTHI ( pedidos al minorista , TIEMPO PROMEDIO, pedidos al minorista )
Produccion En Proceso = INTEG( orden produccion - Produccion Terminada , produccion en proceso deseada)
produccion en proceso deseada = PLAZO PRODUCCION * prevision demanda fabricante
Produccion Terminada = DELAY FIXED ( orden produccion ,PLAZO PRODUCCION , orden produccion)
RETRASO EN SERVIR LOS PEDIDOS = 1
salto = IF THEN ELSE ( SWS >= 1, ( STEP ( PORCENTAJE SALTO * 0.01, MOMENTO SALTO)), 0)
saveper = TIME STEP
SW POLITICAS = 4
SW PREVISION = 0
SWS = 1
TIEMPO DE AJUSTE = 3
TIEMPO PROMEDIO = 4
TIME STEP = 0.0625
TP ENTREGAS AL DISTRIBUIDOR = 5
TP ENTREGAS AL MINORISTA = 5

```