

# Efectos de la Variación en la Demanda y Políticas de Inventario en la Cadena de Suministro: Un Análisis desde la Óptica de la Dinámica de Sistemas

## Effects of Change in Demand and Inventory Policies in the Supply Chain: An Analysis Through system Dynamic

**Juan Carlos Vergara Schmalbach\***  
**Tomás Fontalvo Herrera\*\***  
**Efraín de la Hoz Granadillo\*\*\***

### RESUMEN

El reciente interés que ha despertado la dinámica de sistemas como método para analizar las cadenas de suministro a partir de la modelación de sistemas simplificados, ha permitido a investigadores probar diferentes estrategias en busca de la optimización de las relaciones dadas entre las entidades que participan en una red empresarial de suministro. Este artículo pretende visualizar los efectos que tienen las estrategias de pedidos basados en el tamaño del lote y el punto de reorden puestos a consideración ante dos casos de comportamientos de demanda diferentes: constante y variable en razón del tiempo. A través de un modelo simulado, basado en el conocido juego de la cerveza, se identificaron las estrategias que evitan el efecto Bullwhip, teniendo como resultado y principal conclusión, que los cambios pequeños en la demanda pueden crear efectos colaterales amplificados en toda la cadena de suministro.

**Palabras clave:** Dinámica de sistemas, Cadena de suministro, Simulación, Juego de la cerveza, Diagrama de influencia, Efecto Bullwhip.

### ABSTRACT

There has been shown recent interest on System Dynamics as a method to analyze supply chains from simplified systems modeling which has enabled researchers to test different strategies in pursuit of optimization of the given relations among the entities involved in an enterprise supply network. The aims of this article is to describe the effects of ordering strategies based on lot size and reorder point considered under two cases of different demand behavior: constant and variable demand according to time. The simulated impact on the chain was assessed on a simplified model of its own, based on the well-known Beer Game, identifying strategies that avoid the Bullwhip effect.

**Key words:** Systems dynamics, Supply chain, Simulation, Beer game, Diagram of influence, Bullwhip effect.

\* *Docente de Tiempo Completo de la Universidad de Cartagena, Programa de Administración Industrial, Facultad de Ciencias Económicas, Avenida El Consulado Calle 30 No. 48-152 Cartagena 1382. Bolívar, Colombia.*

*jvergaras@unicartagena.edu.co*

\*\* *Docente de Tiempo Completo de la Universidad de Cartagena, Programa de Administración Industrial, Facultad de Ciencias Económicas, Avenida El Consulado Calle 30 No. 48-152 Cartagena 1382. Bolívar, Colombia.*

*tfontalvo@unicartagena.edu.co*

\*\*\* *Docente de Tiempo Completo de la Universidad de Cartagena, Programa de Administración Industrial, Facultad de Ciencias Económicas, Avenida El Consulado Calle 30 No. 48-152 Cartagena 1382. Bolívar, Colombia.*

*edelahozg@unicartagena.edu.co*

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación del concepto de cadenas de suministro ha proporcionado una visión sistémica a investigadores en el análisis de las relaciones internas y externas referentes al intercambio de bienes que se dan en una empresa, buscando optimizar el flujo natural de información. Este nuevo nivel de estudio ha involucrado distintas herramientas y metodologías con el fin de identificar comportamientos que se dan en las cadenas de suministro. Una de estas herramientas la ofrece la Dinámica de Sistemas (DS), cuyo objetivo es la construcción de un modelo intuitivo que simule la realidad como mejor modo de comprender el funcionamiento de un sistema.

La DS tiene sus inicios en los años 60 en el MIT<sup>1</sup> por Jay W. Forrester [1], con alcances que se han difundido en el sector empresarial con un crecimiento exponencial abarcando temas relacionados con el manejo de activos, servicios financieros, simulación de procesos, defensa, logística y consultoría [2]. La DS se considera además, como un excelente método de enseñanza basada en hechos [3], donde se pueden realizar simulaciones, camino efectivo para comprender cómo funciona una cadena de suministro [4].

Mediante la aplicación de la DS, este artículo tiene el propósito de mostrar al lector la relación y efecto existentes entre distintas alternativas en el manejo de los inventarios para satisfacer diferentes cantidades y comportamientos en la demanda, determinando las unidades requeridas, despachadas y niveles de inventarios, para los diversos actores que participan en una cadena de suministro, a partir de un modelo recreado bajo los principios desarrollados en el reconocido juego de la cerveza (en inglés: *beer game*).

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

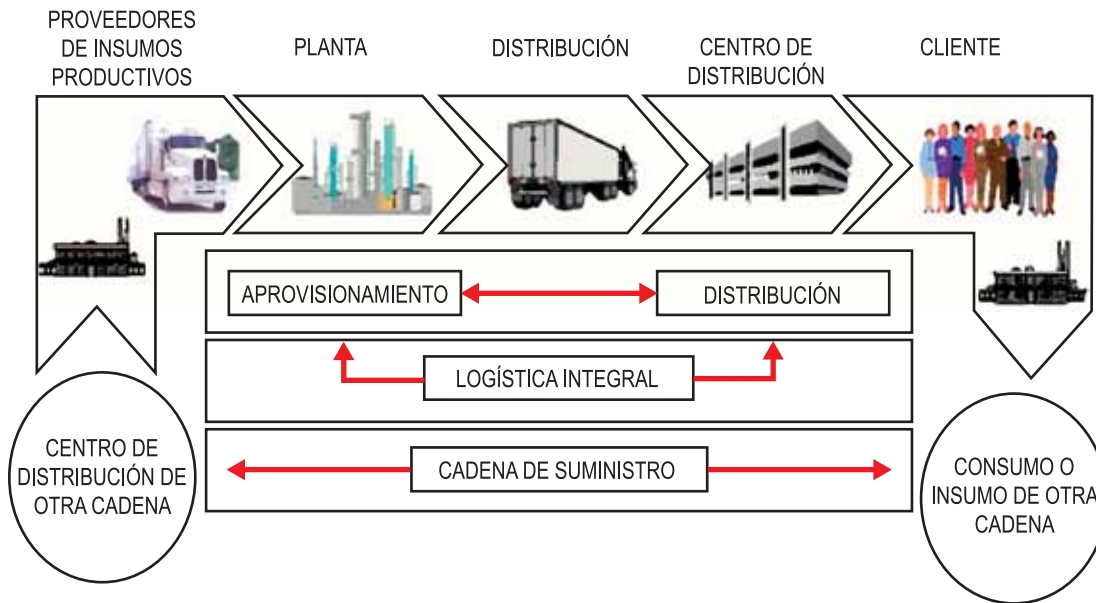
Una cadena de suministro es considerada como una red de compañías que realizan funciones de suministro de materiales, transformación de estos en productos intermedios o acabados y la distribución de estos productos acabados para los clientes [5]. En este sentido, la aplicación de la DS para modelar la cadena de suministro tiene sus raíces en la dinámica industrial [6], demostrando que los sistemas de manufactura no tienen una representación matemática exacta de su comportamiento [7]. Los tiempos de retrasos, las condiciones de incertidumbre y la no linealidad hacen que estos modelos generen resultados imprevistos y posean características como: incierta y alta variabilidad, ambiente dinámico y funciones distribuidas [5].

La simulación puede ser usada para el control de procesos, soporte de decisiones y planeación proactiva en la cadena [8] y no necesariamente requiere de sofisticados modelos matemáticos [9]. El mismo

---

1. Massachusetts Institute of Technology.

Forrester (1961) [10] establece un modelo sencillo de cadena de suministro con cuatro actores haciendo énfasis en el flujo de mercancía, los tiempos de entrega e inventarios. En la Figura 1 se puede observar un modelo general de la cadena de suministro planteado por Forrester [10].



**Figura 1. Configuración de la cadena de suministro**

Fuente: Modelo Forrester de la cadena de suministro [10].

Este análisis de variables permite construir un modelo cuya base, es una hipotética explicación completa de un sistema real, el cual es capaz de reproducir los comportamientos de entradas y salidas de datos [12]. Gracias a la DS se podrá mejorar la comprensión del sistema de producción y abastecimiento de una empresa, analizando las consecuencias de las decisiones o alternativas propuestas antes de ser llevadas a la práctica [13].

Sterman [14] presenta un primer modelo del juego de la cerveza desarrollado en Vensim (software creado en el MIT), donde se distinguen cuatro entidades: una fábrica, un distribuidor, un mayorista y un detallista, motivados por una demanda no-estacionaria y desconocida (ver Figura 2). Una modificación al juego original es presentada por Kaminsky y Simchi [15], quienes proponen una demanda estacional y desconocida, simulada por computador.

El juego de la cerveza ha sido ampliamente utilizado para demostrar la complejidad en el funcionamiento de una cadena de suministro simplificada [16], popularizado por Senge [17] en su libro *Quinta disciplina*. El problema del juego realizado en un tablero de mesa es que los estudiantes pasan más tiempo aprendiendo las reglas, que estableciendo estrategias efectivas para controlar los pedidos y despachos [15].

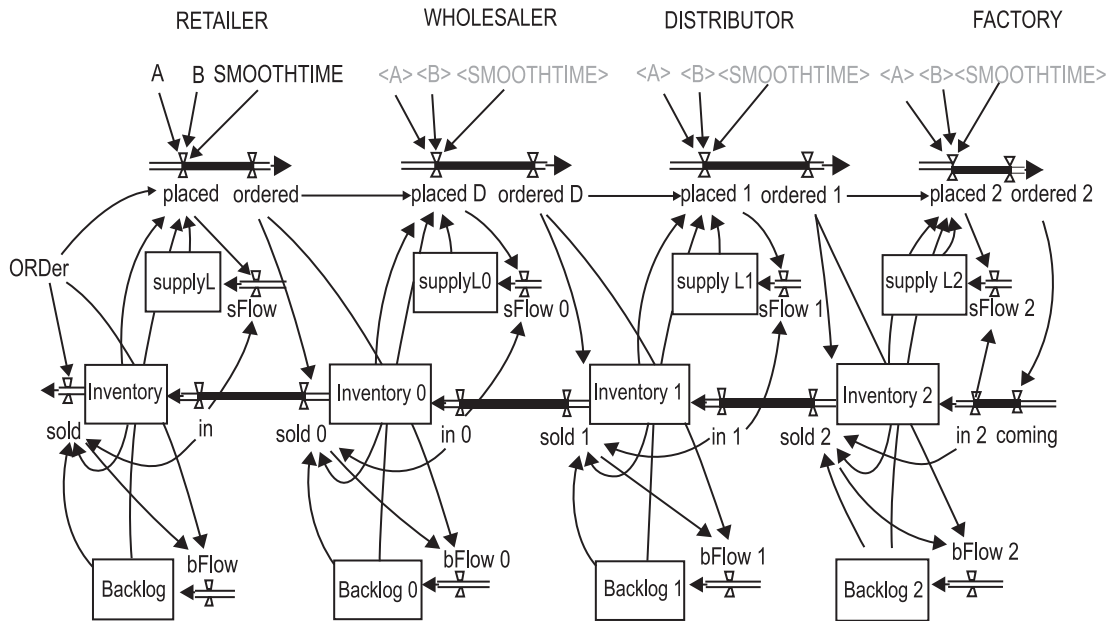


Figura 2. Diagrama de flujo del juego de la cerveza

Fuente: Sterman, J. D. (1989). Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science*

### 3. METODOLOGÍA

Las investigaciones en DS relacionadas con cadenas de suministro se dividen en tres grupos [18]:

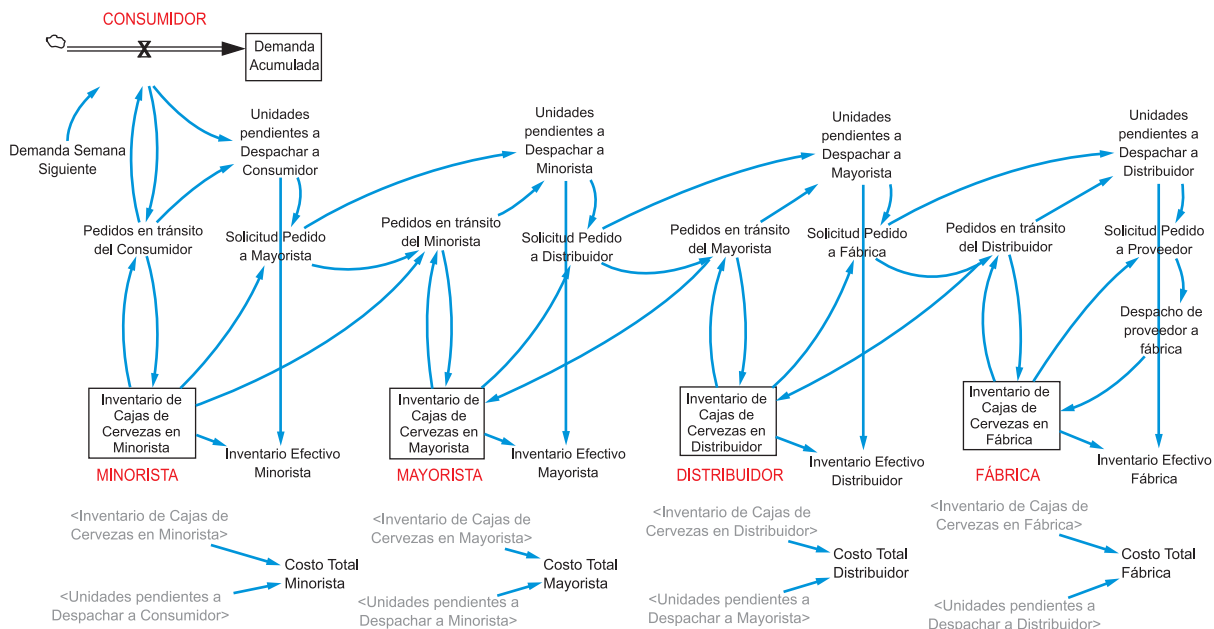
- Investigaciones concernientes con la contribución teórica y construcción de modelos.
- Investigaciones que emplean modelos de dinámicas de sistemas para resolver problemas.
- Investigaciones que trabajan en implementar las aproximaciones del modelo.

Este proyecto llevó a cabo una investigación de tipo descriptiva experimental, donde se construyó un modelo para el análisis de una cadena de suministro (consecuente con el punto a del párrafo anterior) y su posterior simulación. Para el cumplimiento del objetivo propuesto se cumplieron con las siguientes etapas:

- **Identificación de variables y establecimiento de sus relaciones:** Se tomaron en cuenta aquellas entidades y variables definidas por Sterman en modelo original del juego de la cerveza.
- **Construcción y simulación del modelo:** Se procedió a establecer el mapa completo de variables y relaciones que conforman el sistema en un diagrama de flujo. Este modelo fue adaptado al software Vensim, facilitando su incorporación al ordenador. El modelo creado fue validado respecto a los resultados arrojados por el juego de mesa original practicado por un grupo de estudiantes, en una sesión de 40 semanas simuladas.
- **Interpretación de resultados:** Como última fase, los resultados fueron analizados, identificando ciertos comportamientos de interés. Se modificaron los valores y comportamientos de la demanda

y esquema de pedidos en el modelo, para generar escenarios alternativos, visualizando mediante la simulación, las consecuencias en el sistema a través de los nuevos resultados arrojados.

En la Figura 3 se muestra el modelo completo que representa el juego de la cerveza utilizado en este artículo.



**Figura 3. Modelo representativo de una cadena de suministro simplificada en I Think**

Fuente: Elaborado por los autores

### 3.1. Diseño de estrategias

Una estrategia eficiente aplicada a una cadena de suministro deberá conducir a un mejor control en la variabilidad de los procesos, reduciendo los tiempos de entrega y realizando asociaciones estratégicas [19], combinado a su vez, con un incremento en el intercambio de información entre los participantes de la cadena [20, 21]. El diseño de una estrategia eficiente para una red empresarial requiere de los siguientes elementos [22]: número, localización, capacidad y tipo de plantas de manufactura, almacenes y centros de distribución que hacen parte de la cadena; un conjunto de proveedores; los modos de transportes a ser usados; la cantidad de materia prima y productos terminados a comprar, producir, almacenar y transportar entre proveedores, plantas, almacenes, centros de distribución y clientes.

Para el diseño de las estrategias consideradas en este artículo, se tomó como base un comportamiento variable de la demanda y un nivel de inventario mínimo (conocido como punto de reorden), que alerta al almacén a realizar un pedido previniendo el desabastecimiento de artículos, empleando como referencia las estrategias propuestas por Hieber & Hartel [23].

La demanda se entenderá como la fuente de información principal para la correcta gestión de la cadena [24], punto de partida para la previsión de planes de producción y adopción de modelos de gestión de inventarios [25].

La gestión de inventarios es respaldada en una política de tamaños de pedidos y puntos de reorden [26]. Este mecanismo de pre-control anticipa lo que podría pasar (potencialmente) más que en controlar lo que está ocurriendo (actualmente) [27].

Los escenarios planteados para distintas estrategias de pedidos y comportamientos de la variable demanda se pueden observar en la Tabla 1, diseñados a partir de las siguientes consideraciones generales:

- a. Los inventarios iniciales de cada almacén son de 40 unidades.
- b. El periodo de entrega de mercancía es de una semana.
- c. El inventario final se conoce solo al inicio de la siguiente semana.
- d. Todos los actores afectan los pedidos teniendo en cuenta el comportamiento de la demanda del consumidor final.
- e. La fábrica cuenta con un proveedor con disponibilidad permanente de existencias.

**Tabla 1. Escenarios propuestos considerando las variables demanda y pedidos a proveedor**

Demanda	Inventario
(A) Constante en razón del tiempo a 20 unidades semanales	(1) Pedido a proveedores constante por 20 unidades semanales. El pedido se realiza cuando el inventario alcanza valores inferiores a las 20 unidades.
(B) La demanda es constante a 20 unidades semanales hasta la semana número 10. Presenta un incremento en 10 unidades a partir de la semana 11 hasta la semana 20.	(2) Pedidos aleatorios con comportamiento normal de media 20 y desviación estándar de 2 unidades semanales. Nivel del servicio del 95%. El pedido se realiza cuando el inventario alcanza valores inferiores a las 20 unidades.
	(3) Pedidos aleatorios con comportamiento normal de media 20 y desviación estándar de 2 unidades semanales. Nivel del servicio del 95%. El pedido se realiza cuando el inventario alcanza valores inferiores a las 30 unidades.
	(4) Pedidos aleatorios con media de 40 y desviación de 2 unidades. Nivel de servicio del 95%. El pedido se realiza cuando el inventario alcanza valores inferiores a las 40 unidades.

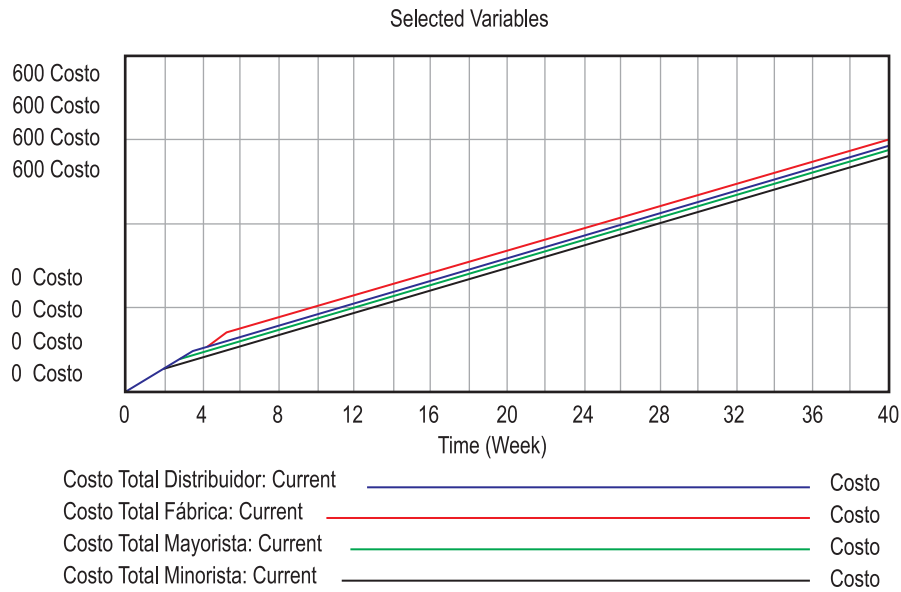
Fuente: Elaborado por los autores

Al análisis se le suma una evaluación de costos de las unidades en inventario equivalentes a 0,5 y unidades pendientes de ser despachadas por un valor de 1.

#### 4. RESULTADOS

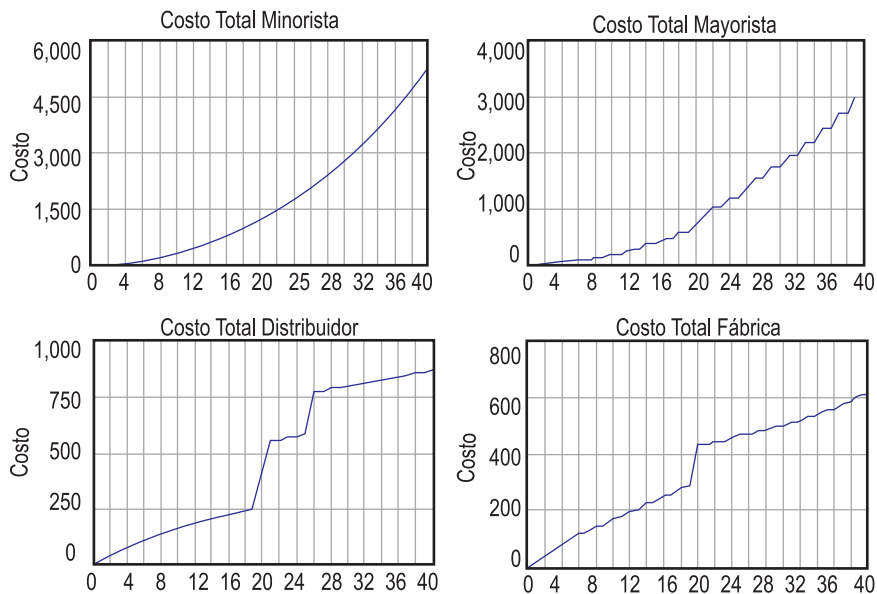
La primera estrategia resulta de la combinación del comportamiento de demanda A y el esquema de pe-

didados 1 (denominada estrategia A1), mostrando un sistema estable (ver Figura 4), donde se mantiene un inventario constante en todos los actores, con una pequeña variación en los costos dada porque las solicitudes de inventario que parten del minorista hasta el fabricante (el minorista es el primero en agotar el inventario inicial, siguiendo la secuencia el mayorista, distribuidor y productor).



**Figura 4. Costos totales por actor de la estrategia A1**

Fuente: Elaborado por los autores

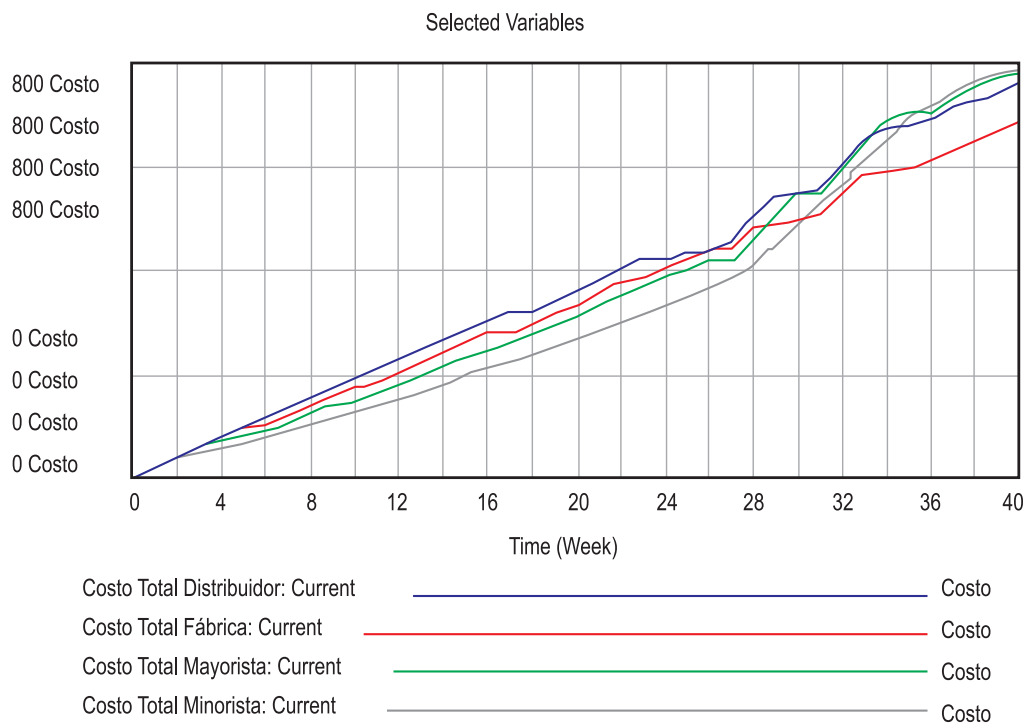


**Figura 5. Estimación de costos de la estrategia A2**

Fuente: Elaborado por los autores

La estrategia A2 muestra un panorama distinto (ver Figura 5); algunos pedidos aleatorios generan inventarios superiores a las 20 unidades, dándole al sistema una capacidad pobre de respuesta realizando pedidos demasiado tarde. Las unidades pendientes se incrementan siendo el más afectado el minorista.

En la estrategia A3, los pedidos se anticipan a los desabastecimientos presentando curvas de costos similares en todos los actores (ver Figura 6), motivado por un punto de reorden mayor que en la estrategia A2.



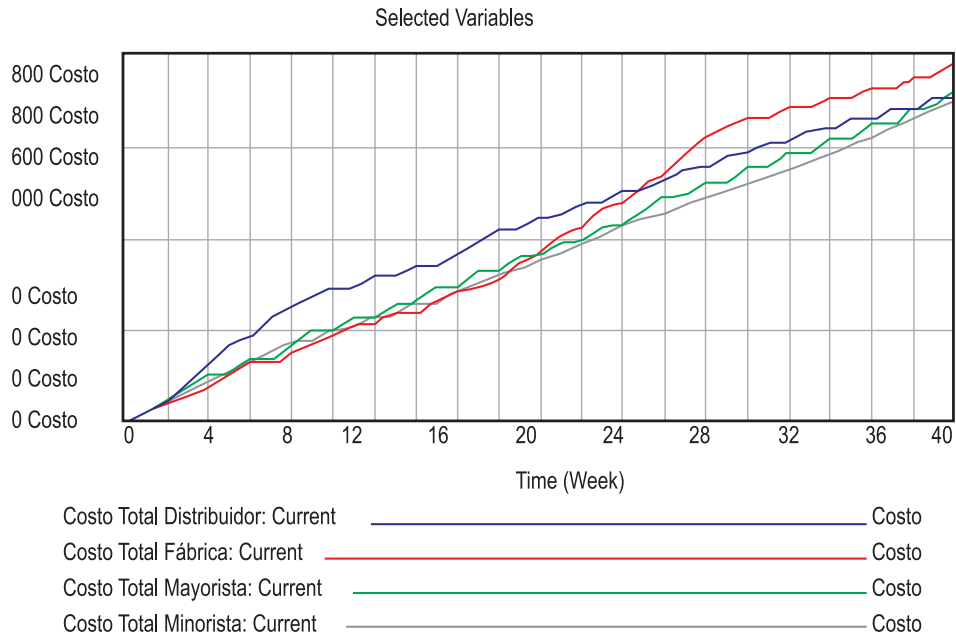
**Figura 6. Costos totales por actor de la estrategia A3**

Fuente: Elaborado por los autores

En la última estrategia (A4) los actores muestran costos similares a la estrategia A3 (ver Figura 7), no siendo un punto diferenciador el aumento en el nivel mínimo de inventario de 30 a 40 unidades.

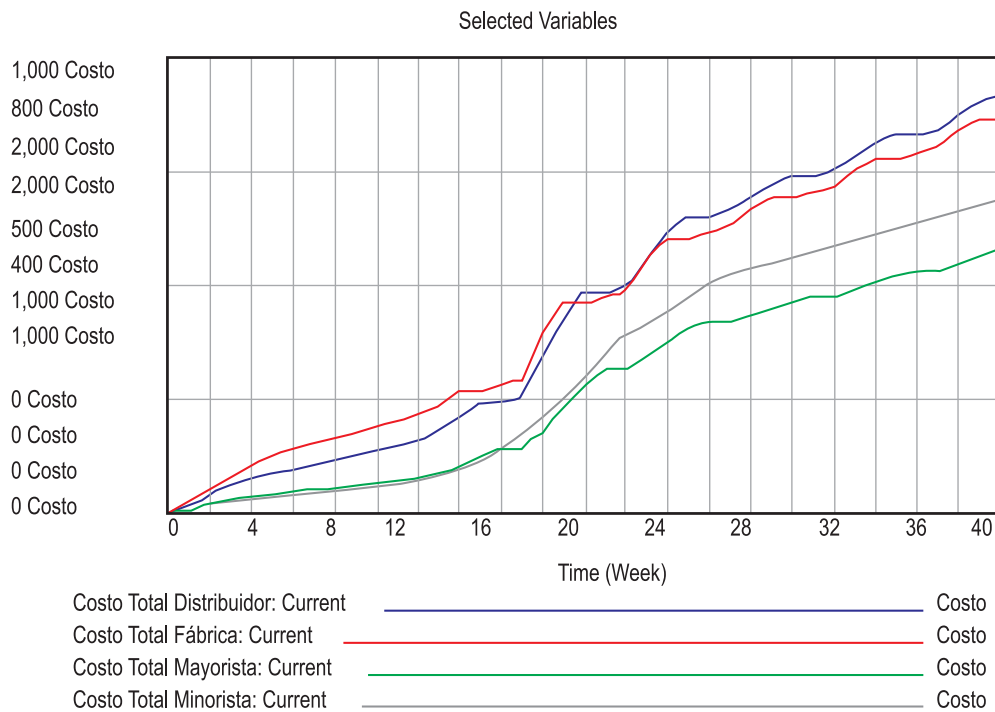
Cuando la demanda presenta un incremento súbito, el efecto en la cadena se amplifica notoriamente. En el primer caso (B1), el sistema presenta unidades pendientes por despachar en todos los actores, incrementando los costos totales (ver Figura 8), siendo menos afectados la fábrica (este tiene mayor capacidad de reacción debido a que cuenta a su vez, con un proveedor con existencias disponibles y despacho inmediato) y el distribuidor, y los más afectados el minorista y el mayorista.





**Figura 7. Costos totales por actor de la estrategia A4**

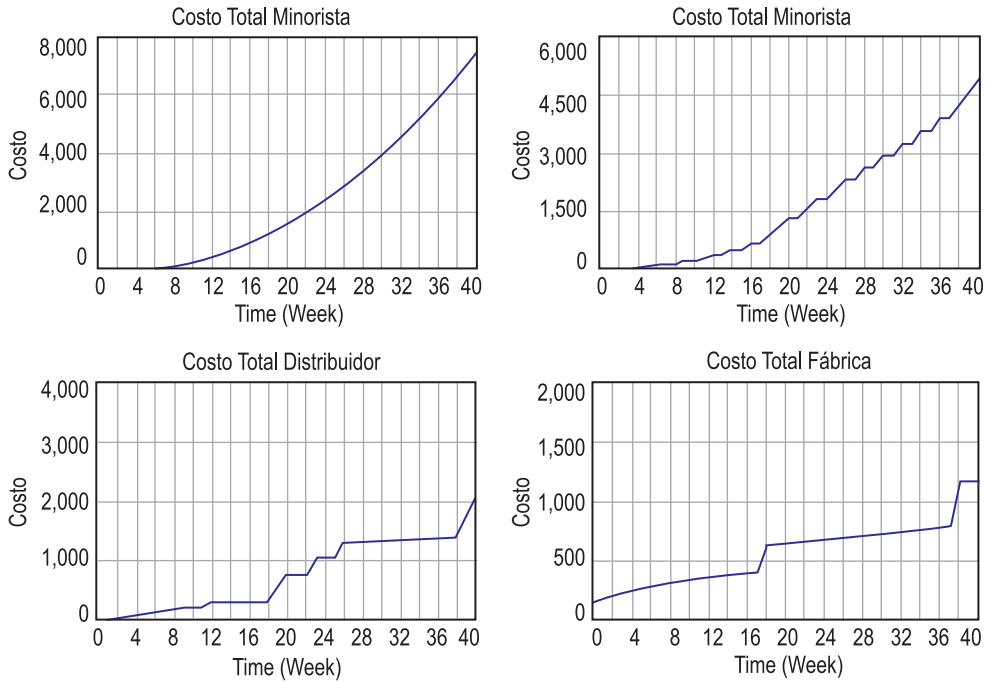
Fuente: Elaborado por los autores



**Figura 8. Costos totales por actor de la estrategia B1**

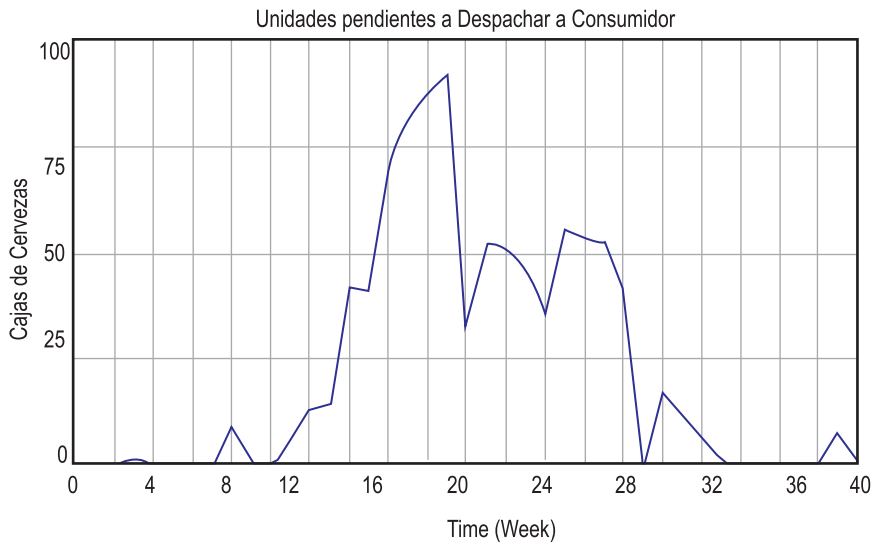
Fuente: Elaborado por los autores

En la estrategia B2 las unidades pendientes no llegan a ser recuperadas, pero a diferencia de la estrategia A2, los costos se incrementan para cada actor debido al aumento en la demanda de cajas de cerveza (ver Figura 9).



**Figura 9. Costos totales por actor de la estrategia B2**

Fuente: Elaborado por los autores

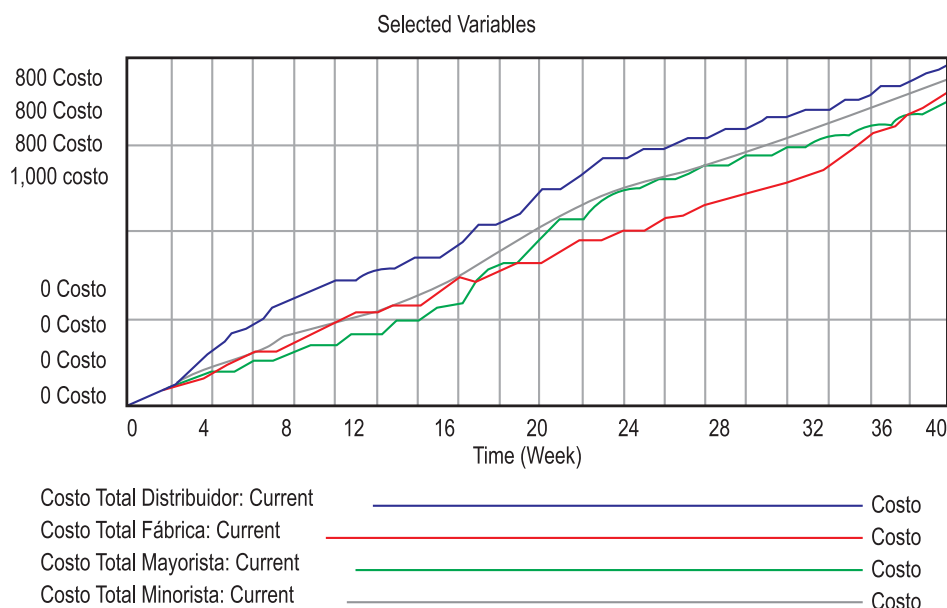


**Figura 10. Unidades pendientes a despachar al consumidor de la estrategia B3**

Fuente: Elaborado por los autores

En la estrategia B3, los costos son un poco menores que en la estrategia B2, debido a que llegan a presentarse menos unidades pendientes. El éxito de esta estrategia radica en que posee un punto de reorden mayor, anticipando los pedidos a proveedores. En la Figura 10 se muestran las unidades pendientes a despachar al consumidor, que en un momento dado, presenta valores superiores a las 50 unidades, a pesar que la demanda máxima registrada en el modelo es tan solo de 30 unidades.

La estrategia de demanda fluctuante que muestra mayor éxito es la B4, que mezcla un tamaño de pedido y un punto de reorden mayor que en las estrategias anteriores (ver Figura 11). Este modelo tiene la capacidad de responder a un aumento de la demanda gracias a que los actores cuentan con el inventario de artículos suficientes.



**Figura 11. Costos totales por actor de la estrategia B4**

Fuente: Elaborado por los autores

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La DS induce a una fuente de conocimiento inagotable originado en la definición de escenarios sobre sistemas modelados en computador. A pesar de que el juego de la cerveza es una versión simplificada de una cadena de suministro, considera las variables básicas que describen a las empresas que participan en ella, dando la oportunidad para demostrar y probar distintas estrategias de gestión.

Como primera conclusión de este experimento, se recalca la importancia de conocer el comportamiento de la demanda para prever posibles desabastecimientos de mercancía. El efecto Bullwhip (o efecto Fo-

rester) indica que cuando la demanda del cliente no varía mucho, los niveles de inventarios y pedidos pendientes fluctúan considerablemente a través de la cadena [23]. Cambios pequeños en la demanda pueden crear efectos colaterales amplificadas en toda la cadena de suministro.

El punto de reorden debe ser tomado como un mecanismo de control de inventario, y su eficiencia depende, de qué tan pronto pueda comunicarse el almacén a compras, para realizar un pedido a tiempo y en la cantidad necesaria. Una pequeña variación en el punto de reorden puede traer consecuencias nefastas en la cadena. En las estrategias con demanda constante (A), un punto de reorden de 20 unidades invariables (igual a la cantidad demandada), muestra un sistema de pedidos y despachos estable en toda la cadena de suministro. En caso de un sistema de pedidos aleatorios (con un nivel de servicio del 95%), se requerirá un punto de reorden superior a la demanda.

En la estrategia de demanda variable (B), el punto de reorden debió ser superior a la demanda promedio (mayor que en las estrategias de demanda constante), estableciendo una reserva significativa de unidades en inventario para suplir las elevaciones súbitas de la demanda como se observa en la estrategia B4.

Un reajuste a tiempo en el tamaño del pedido permitirá normalizar las fluctuaciones en la cadena. Se recomienda además, realizar pedidos balanceados ajustados a la demanda en largos intervalos de pedidos, para reducir los efectos de la variabilidad de la demanda [28].

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. W. Forrester, The beginning of System Dynamics. *The McKinsey Quarterly* (4), 5-16, 1995.
- [2] S. Wyatt, The potential of system dynamics. *Leading edge, The NHS Confederation*, 1-5, 2005.
- [3] L. Martin, Introducción a los sistemas con retroalimentación. *MIT System Dynamics in Education Project*, 1-45, 1997.
- [4] J. Liu, W. Wang, Y. Chai y Y. Liu, Easy-SC: A Supply Chain Simulation Tool. *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*. New York: IEEE, 2004, pp. 1373-1378.
- [5] D. Cope, M. F. Fayed y M. Mollaghasemi, Supply chain simulation modeling made easy: an innovative approach. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*. New York: IEEE, 2007, pp. 1887-1896.
- [6] J. Forrester, Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers. *Harvard Business Review*, 36(4), 37-66, 1958.
- [7] G. Peña, A. Crespo y I. Dyner, Análisis Cualitativo de un Modelo de Producción-Inventario. Medellín, Antioquia, Colombia: S. M. Universidad Nacional de Colombia, 1-30, marzo 25 de 2003.
- [8] J. Banks, S. Buckley, S. Jain, P. Lendermann y M. Manivannan, Panel Session: Opportunities for Simulation in Supply Chain Management. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*. New York: IEEE, 2002, pp. 120-135.

- [9] J. P. Kleijnen, Supply chain simulation tools and techniques: a survey. *International Journal of Simulation & Process Modelling*, 1(1), 82-89, 2005.
- [10] J. Forrester, *Industrial Dynamics*. Cambridge: Productivity Press, 1961.
- [11] J. E. Jiménez y S. Hernández. Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, 2002, p. 73.
- [12] S. Robinson, Conceptual Modeling for Simulation: Issues and Research Requirements. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*. New York: IEEE, 2006, pp. 792-799.
- [13] C. M. Parra, J. I. Pérez y D. Torres, "Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas". *Ingeniería y Desarrollo*, 151-171, 2006.
- [14] J. D. Sterman, Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science*. 35(1), 321-329, 1989.
- [15] P. Kaminsky & D. Simchi-Levi, A New Computerized Beer Game: A Tool for Teaching the Value of Integrated Supply Chain Management. *Global Supply Chain and Technology Management*, 1(1), 216-225, 1998.
- [16] H. H. Andrade, L. C. Gómez y E. Galvis, Expanding the possibilities of learning from the beer game: Application of SI/TI to strengthen the learning of dynamic systems thinking. II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Bogotá, 2005, pp. 125-138.
- [17] P. Senge, *The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday Business, 1994.
- [18] B. J. Angerhofer y M. C. Angelides, System Dynamics Modelling in Supply Chain Management: Research Review. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*. New York: IEEE, 2000, pp. 342-351.
- [19] D. Simchi-Levi y P. Kaminsky, *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Cases*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1999.
- [20] S. Gupta, J. Steckel & A. Banerji, Dynamic decision making in marketing channels: An experimental study of cycle time, shared information and customer demand patterns. *Experimental Business Research*, 2001.
- [21] R. Croson y K. Donohue, Experimental Economics and Supply-Chain Management. *Interfaces*, 32(5), 74-82, 2002.
- [22] H. Ding, L. Benyoucef y H. Carl, A new tool for Supply Chain Network Optimization and Simulation. *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*. New York: IEEE, 2004, pp. 1404-1411.
- [23] R. Hieber y I. Hartel, Impacts of SCM order strategies evaluated by simulation-based 'Beer Game' approach: the model, concept, and initial experiences. *Production Planning & Control*, 14(2), 122-134, 2003.
- [24] O. Rubiano, Mejora del rendimiento operativo y financiero de las cadenas de suministro mediante el uso de las herramientas de colaboración basadas en Internet. *Ciencia y Tecnología*, 4(2), 34-41, abril de 2003.

- [25] T. Yoshizumi y H. Okano, A simulation-based algorithm for Supply Chain Optimization. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*. New York: IEEE, 2007, pp. 1924-1931.
- [26] M. Schwaninger y P. Vrhovec, Supply System Dynamics: Distributed Control in Supply Chains and Networks. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 375-415, 2006.
- [27] M. Schwaninger, K. Ambroz y C. Olaya, A Model for Systemic Control. *Computing Anticipatory System: CASYS'05 - 7th International Conference*. Suiza: University of St. Gallen, 2006, pp. 549-559.
- [28] H. Lee, V. Padmanabhan y S. Whang, Comments on "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect". *Management Science*, 50(12), 1887-1983, 2004.