

ENTENDIENDO LA CADENA DE SUMINISTRO DESDE LA ÓPTICA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS A PARTIR DEL MODELO DEL JUEGO DE LA CERVEZA

JUAN CARLOS VERGARA SCHMALBACH*
VÍCTOR MANUEL QUESADA IBARGÜEN**
TOMÁS JOSÉ FONTALVO HERRERA***

Recibido 6 de Julio de 2010/Enviado para Modificación 15 de Septiembre de 2010/Aceptado 30 de Noviembre de 2010

RESUMEN

Uno de los grandes aportes que ofrece la dinámica de sistemas, es que permite escudriñar un sistema entendiendo las causas de su comportamiento y efectos que éste genera, detallado a través de una serie de variables y relaciones enmarcadas en un modelo cuantitativo. Esta comprensión al detalle de los encadenamientos entre variables suministra al investigador herramientas para prever posibles estados futuros del sistema y, con base en ello, anticipar soluciones alternativas. El presente artículo tiene como objetivo proponer un modelo simplificado de una cadena de suministro desde la óptica de la dinámica de sistemas, tomando como referencia el conocido "Juego de la Cerveza", para entender el comportamiento medio de una cadena de suministro a través de la observación de la actuación de los agentes que participan en ella. El resultado alcanzado en esta investigación arroja un modelo general de cadena de suministro que permitirá, realizar experimentos o simular escenarios para visualizar el efecto de una variable sobre otra.

* Magíster en Administración de Empresas de la Universidad Nacional. Docente de tiempo completo Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Cartagena. Grupo Métodos Cuantitativos de Gestión. E-mail: jvergaras@unicartagena.edu.co/ Page: <http://juancarlosvergara.50webs.org>.

** Doctor Ingeniería de Organización por la Universidad de Sevilla (España). Docente de tiempo completo Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Cartagena. Grupo Métodos Cuantitativos de Gestión. E-Mail: vquezadai@unicartagena.edu.co.

*** Magister en Administración Universidad Nacional de Colombia. Docente de tiempo completo Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Cartagena. Grupo Calidad y Productividad Organizacional Integral. E-Mail: tomasjosefontalvo@gmail.com.

Palabras Clave: *Métodos de simulación, organización de la producción, análisis de la producción, cadena de suministro, dinámica de sistemas.*

Clasificación JEL: C15, L23, R30.

ABSTRACT

A major contribution offered by system dynamics is that it allows a system scan understanding the causes and effects generated by their behavior, detailed through a series of variables and relationships framed in a quantitative model. This understanding in detail the linkages between variables, the researcher provides tools to anticipate possible future states of the system, based on this, anticipate alternative solutions. This article introduces the reader to the analysis of the supply chain from the perspective of system dynamics, with reference to the famous "Beer Game" to understand the average behavior of a supply chain through observation the actions of those involved in it. The result achieved in this research sheds its own model of supply chain which will allow, perform experiments or to simulate scenarios to visualize the effect of one variable on another.

Key Words: *Simulation methods, organization of production, analysis of production.*

JEL Classification: C15, L23, R30.

INTRODUCCIÓN

La dinámica de sistemas (DS) se emplea para el estudio de procesos sociales y económicos, debido a su alto poder descriptivo y posibilidad de adaptarse a un modelo matemático, que simplifica el análisis y permite su posterior simulación mediante el uso de ordenadores. Desde que fue concebida en los años 60 en el MIT¹ por Jay W. Forrester (1), sus aplicaciones 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). Ser modelador en DS requiere de ciertas habilidades como un pensamiento dinámico, causal, perspectivo, operacional, cíclico, cuantitativo y científico (3) que hacen de este oficio una actividad interesante, que por sus beneficios, debería ser un tema obligado para el análisis de cualquier clase de sistema en las escuelas de educación superior.

¹ Massachusetts Institute of Technology

El hombre toma acciones muchas veces sin ser consciente del impacto que tienen sus decisiones. Esta restricción de la visión se debe en general a la falta de comprensión que tiene sobre el problema (y los elementos que lo componen) que desea solucionar, además de no contar con las herramientas adecuadas para verificar las consecuencias de una decisión (4). Es en ese punto donde la DS juega un papel importante al escudriñar el propio sistema, entendiendo las causas de su comportamiento y los efectos que éste genera, a través de un modelo matemático.

Una característica importante de la DS, es que permite estudiar los componentes de las organizaciones como un conjunto de elementos que tienen interacciones complejas entre ellos y hacia afuera con el entorno (5). Es por esto que la DS es una alternativa apropiada para estudiar sistemas complejos, entre los cuales se consideran las cadenas de suministro, en donde factores como el desempeño de los actores, la sincronización de la información, la gestión de los inventarios, los niveles de pedidos y el flujo general de materia prima y productos terminados, deben ser abarcados con una visión holística para entender su funcionamiento global (6). El presente artículo propone un modelo aplicado a la DS para analizar la cadena de suministro basado en el Juego de la Cerveza (BeerGame), mostrando sus posibles usos como herramienta de aprendizaje en el contexto de los métodos cuantitativos, posibilitando la experimentación de diferentes comportamientos de demanda e inventarios.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

El ejercicio de modelación, involucra la representación del sistema mediante un diagrama de flujo, donde las variables que lo describen se relacionan mediante el uso de conectores o flechas. Este tipo de diagramas hacen de la DS una herramienta mucho más intuitiva que los antiguos modelos meramente matemáticos que implicaban complejos algoritmos secuenciales. El éxito de la simulación de un sistema complejo demanda más que herramientas técnicas y modelos matemáticos (7). En la tabla 1 se pueden observar los postulados que explican la complejidad de la dinámica en un sistema. La aplicación de la DS requiere la participación de un equipo interdisciplinario conformado básicamente por los expertos (conocedores del sistema), el modelador (crea el diagrama de flujo), un programador (introduce los datos al ordenador) y estadísticos (interpretan los resultados) (8).

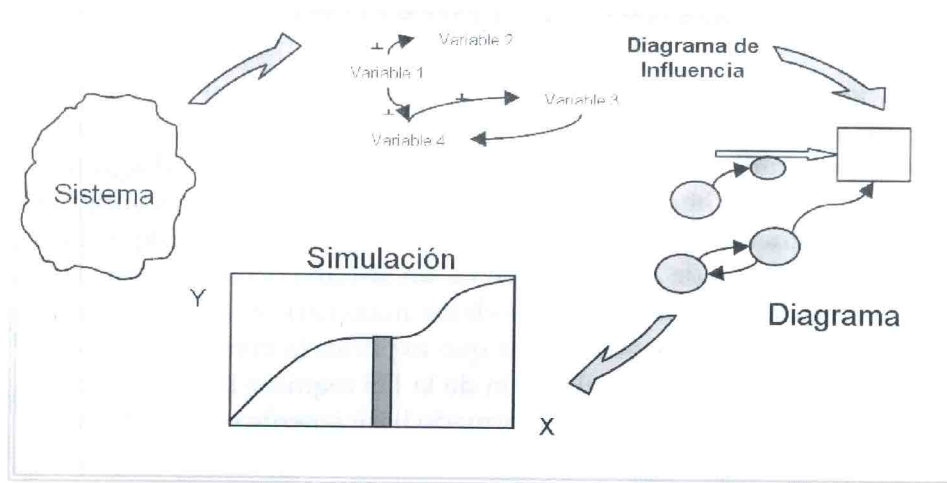
TABLA No. 1. COMPLEJIDAD DE LA DINÁMICA EN UN SISTEMA

- Constante Cambio
- Relación estrecha entre actores
- Administración de Retroalimentaciones
- No linealidad
- Dependencia Histórica
- Auto Organización
- Adaptabilidad
- Caracterizado por intercambios
- Resistencia a comprender la Dinámica de Sistemas

Fuente: Sterman, J. D. (2001). System Dynamics Modeling: Tools for learning in a Complex World. Pág. 5.

Un sistema pasa a través de un análisis de influencia donde éste se descompone en una serie de subsistemas para luego ser esquematizado en un diagrama estructural con claro soporte matemático, finalizando con la simulación del mismo (9). El análisis de influencia establece el tipo de efecto que tiene una variable sobre otra: directa o inversa. La figura 1, muestra el esquema mental requerido para trabajar la dinámica de sistema.

FIGURA No. 1. PROCEDIMIENTO PARA APLICAR LA DINÁMICA DE SISTEMAS



Fuente: Los autores, basado en el modelo planteado por Richmond (1991)

Por otro lado, la cadena de suministro (supplychain en inglés) integra clientes, proveedores y productores en una red colaborativa, estrategia clave para incrementar la competitividad, proveer mejores insumos y asegurar una respuesta más efectiva en el mercado de hoy (10).

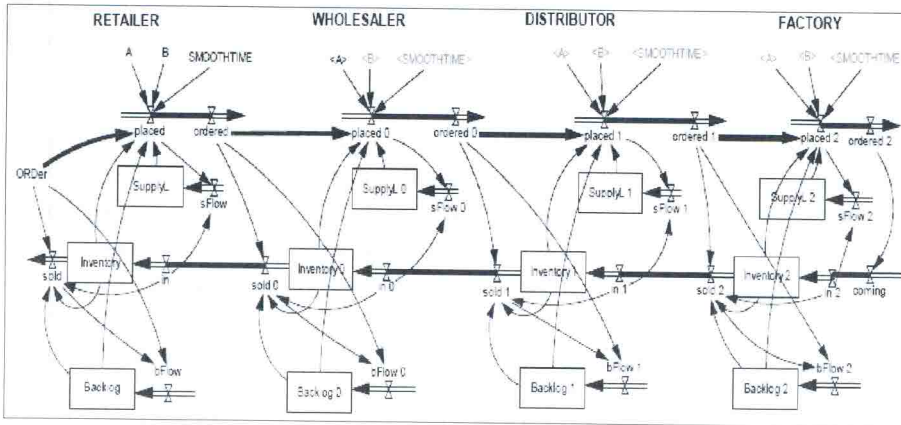
En 1982, D. R. Towill (11) recrea un modelo general llamado IOBPCS (proveniente de las siglas en inglés de *Inventory and Order Based Production Control System*), donde por primera vez aplica el concepto de dinámica de sistemas para entender el funcionamiento de una cadena de suministro. Towill explica que todos los elementos de la cadena son afectados durante la simulación (excepto el volumen de los pedidos de materia prima realizados por la fábrica) e incluye la restricción de capacidad en el sistema.

En años posteriores, como una forma clara de explicar la cadena de suministro, se crea el Juego de la Cerveza, juego de mesa basado en roles donde se simula la cadena de suministro de manufactura (12), permitiendo observar claramente las fluctuaciones en los niveles de producción e inventario. El objetivo del juego, desarrollado por Sterman en el MITS SloanSchool of Management, es proveer de lecciones tanto vivenciales como cognitivas, que comprendan el tiempo y el espacio, de las consecuencias que tienen a largo plazo las decisiones (13). El juego es altamente simplificado, donde cada jugador posee un cliente y un proveedor, cuyas reglas pueden ser aprendidas en solo 15 minutos (14)².

Sterman (15) presenta un primer modelo del Juego de la Cerveza desarrollado en Vensim (Software desarrollado por el MIT), donde se distinguen cuatro entidades: una fábrica, un distribuidor, un mayorista y un detallista, en las cuales se describen variables como: unidades despachadas, demandas, pedidos, tiempos de entrega, inventarios, pedidos pendientes (*backlogs*) y los costos incurridos por compañía, con variaciones considerables (ver figura 2).

² Se puede jugar una versión electrónica del juego de la cerveza en los siguientes links: http://forio.com/simulation/nearbeer/index.htm?FD_action=start_trial, <http://beer-game.mit.edu/>, <http://www.beergame.lim.ethz.ch/>, <http://www.masystem.com/beer-game>.

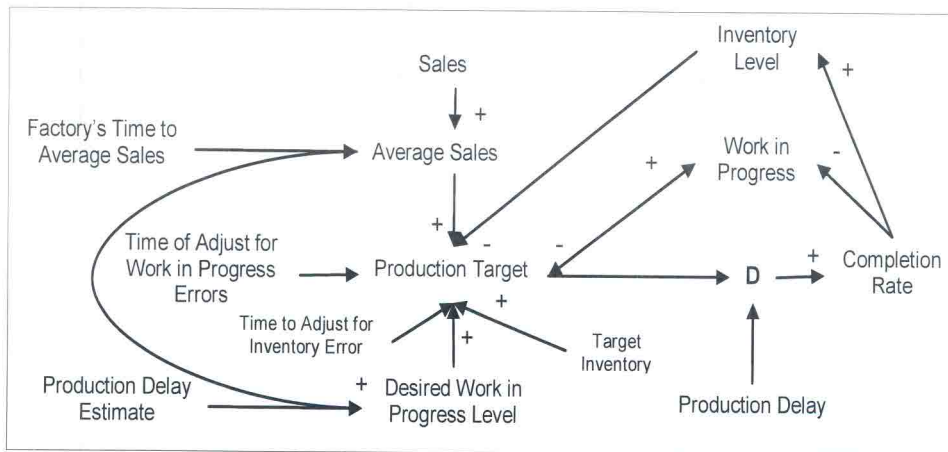
FIGURA No. 2. DIAGRAMA DE INFLUENCIA DEL JUEGO DE LA CERVEZA



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

En 1994, John, Naim and Towill (16) modifican el modelo IOBPCS, adicionando un canalizado automático de la información de pedidos entre los actores que participan en la cadena (16) (ver figura 3), denominándolo APIOBPCS (proveniente de las siglas en ingles de Automatic pipeline, *inventory and OrderBasedProduction Control System*). Representa adecuadamente el proceso de gestión de demanda, y las fases de su funcionamiento son bastante transparentes (17).

FIGURA No. 3. DIAGRAMA DE INFLUENCIA BASADO EN EL MODELO APIOBPCS



Fuente: Capozzi, Del Vecchio y Glielmo. (2003). *A novel work in progress based production controlsystem*. ECC 03.

En el 2003, Capozzi, Del Vecchio y Glielmo (18) determinan que este sistema presenta una respuesta pobre para recuperar los niveles de inventarios, debido al que el modelo posee un ineficiente sistema de retroalimentación. Recientemente, Compuzano, Martines y Ros (19), realizan una propuesta de un modelo de cadena de suministro tomando como referente el modelo APIOBPCS, con un intercambio de información ampliado entre todos los actores de la cadena y la inclusión de las variables nivel inventario máximo y mínimo para controlar el volumen de unidades demandadas entre clientes y proveedores.

METODOLOGÍA

Este proyecto llevó a cabo una investigación de tipo descriptiva experimental, donde se construyó un modelo para el análisis de una cadena de suministro y su posterior simulación de acuerdo a las siguientes etapas:

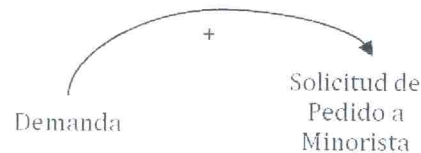
- **Definición del núcleo problema a estudiar:** Este paso exige el pleno conocimiento del sistema y el problema que se desea resolver en él mediante la simulación del mismo. El conocimiento en detalle requiere la participación de expertos que proponen las posibles interacciones y actividades realizadas por los elementos que componen el sistema.
- **Identificación de variables y establecimiento de sus relaciones:** No necesariamente se debe describir el sistema en todas sus variables, lo cual haría de este paso, un proceso arduo y muy complejo. Si se cumple a cabalidad el objetivo de la fase anterior, sólo se tomarán en cuenta aquellas variables involucradas en el problema a estudiar, limitando el sistema a un modelo simplificado, con comportamiento y resultados similares al modelo real.
- **Construcción y simulación del modelo:** Se procede a establecer el mapa completo de variables y relaciones que conforman el sistema en un diagrama de flujo. Este modelo deberá ser adaptado a un software, (I ThinkyVensim, son de los más conocidos), que facilite su incorporación al ordenador. El modelo creado necesitará ser validado con la realidad, mostrando congruencia con los resultados arrojados en la simulación.
- **Interpretación de resultados:** Como última fase, los resultados se analizarán identificando ciertos comportamientos de interés. Se podrá modificar el modelo para generar escenarios alternativos, visualizando mediante la simulación, las consecuencias en el sistema a través de los nuevos resultados arrojados (pasando de un modelo cuantitativo a resultados meramente cualitativos).

Dentro de la etapa de identificación de variables y establecimiento de sus relaciones, se analizaron los elementos que participan en una cadena de suministro, construyendo un diagrama de influencia, basado en el Juego de la Cerveza, proponiendo un modelo alternativo al propuesto por Sterman en 1989 (13).

DESARROLLO DEL MODELO

El modelo comienza con una demanda registrada desde el consumidor final, la cual debe ser generada de forma independiente y ajustada a una distribución de probabilidad, cuyos jugadores, deberán conocer de antemano (20). Esta aleatoriedad recrea condiciones de incertidumbre en el número de cajas de cerveza que demandan los clientes finales, condicionando las decisiones sobre pedidos de los demás actores³. La relación entre la demanda y el pedido del consumidor final estará dada por una relación causal unidireccional como se muestra en la figura 4, considerando la demanda como variable independiente, cuyo valor es afectado por un sinnúmero de factores que involucran el comportamiento del consumidor, el estado general de la economía, competencia, estado del mercado, diseño del producto, estrategias de marketing, entre otros. La relación positiva indica que un incremento en la demanda generará un volumen mayor de pedidos de cajas de cervezas al minorista.

FIGURA No. 4. RELACIÓN ENTRE DEMANDA Y PEDIDO A MINORISTA



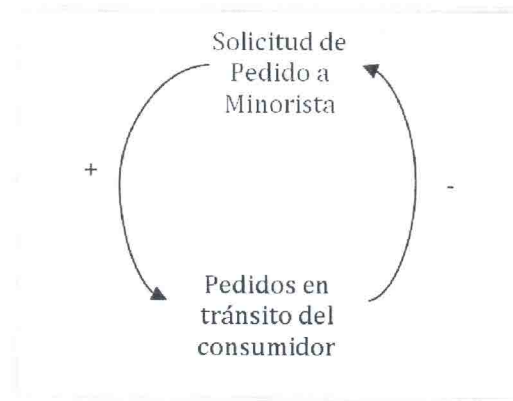
Fuente: Elaboración de los autores

Cada actor realizará un pedido de cajas de cervezas a su proveedor, quien estará limitado por el tamaño del pedido realizado por su cliente y las existencias en inventario. Por ejemplo, el minorista recibirá el pedido de manos del consumidor final, y a su vez, estará dispuesto a realizar el despacho inmediatamente, siempre y cuando posea el inventario suficiente. En caso de que esto no ocurra, realizará un pedido a su proveedor (mayorista).

³ El juego representa las relaciones comerciales entre cuatro actores (detallista, mayorista, distribuidor y fábrica).

rista). Para recrear condiciones reales en el despacho, se supone un tiempo de entrega mayor que cero, que recoge el tránsito de las cajas de cervezas entre cliente y proveedor⁴. Las relaciones indican que un aumento en las solicitudes de cajas de cerveza, tendrá como efecto un aumento en los despachos; pero un aumento en el volumen de los despachos (pedidos en tránsito) implicaría una reducción de las solicitudes de pedidos (ver figura 5).

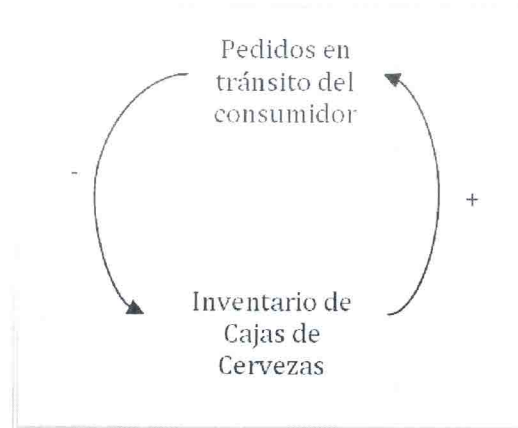
FIGURA No. 5. RELACIÓN ENTRE SOLICITUD DE PEDIDO Y DESPACHOS



Fuente: Elaboración de los autores

Los despachos disminuyen las existencias. Más disponibilidad de cajas de cervezas implicaría una posibilidad de aumentar los despachos (ver figura 6).

FIGURA No. 6. RELACIÓN ENTRE LOS DESPACHOS E INVENTARIOS

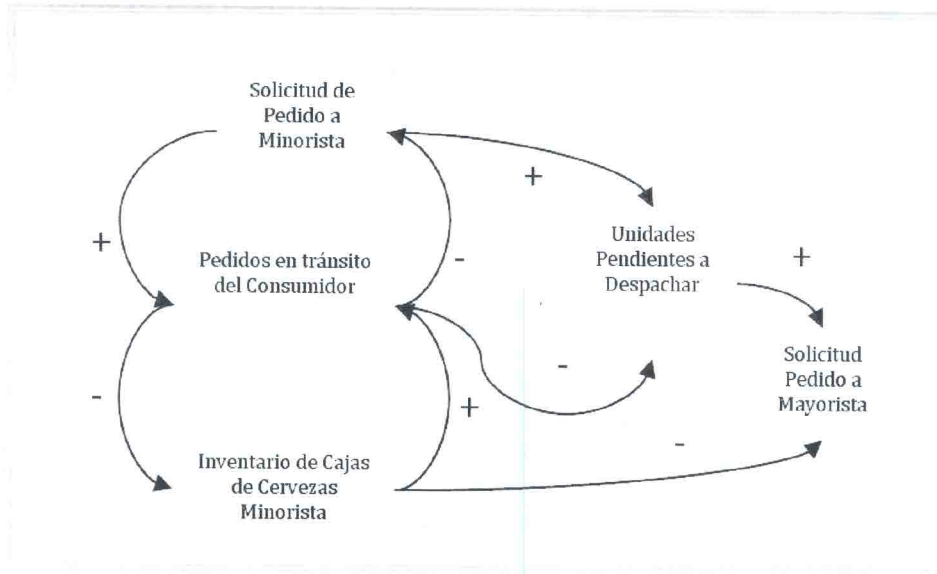


Fuente: Elaboración de los autores

⁴ El tiempo de entrega de mercancía será de una semana.

Ambas relaciones (pedidos, despachos e inventarios) proporcionan información para calcular las unidades que quedan pendientes por entregar y los pedidos a realizar a los proveedores (ver figura 7).

FIGURA No. 7. VARIABLES QUE DESCRIBEN AL MINORISTA



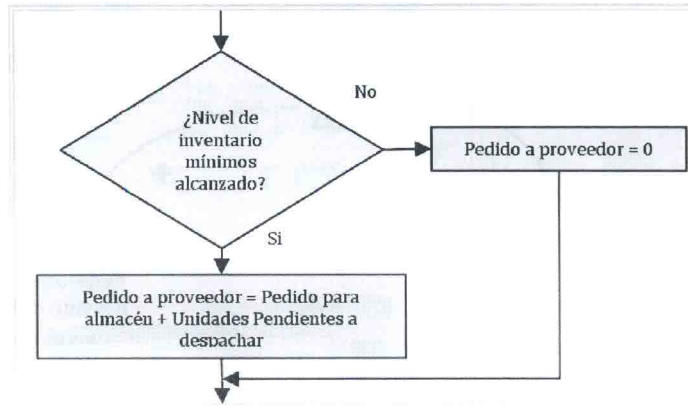
Fuente: Elaboración de los autores

Se podrá emplear un sistema de pedidos relacionados con el nivel de inventarios, con un punto de reorden que dé un aviso de alerta cuando las existencias lleguen a un valor determinado. Para realizar éste cálculo se pueden considerar las siguientes variables (14):

- Nivel actual de inventario
- Unidades pendientes a despachar
- Los pedidos del cliente
- Los despachos al cliente
- Tiempo de entrega de proveedores
- Nivel de servicio ofrecido por almacén

Hay que considerar un condicional que solicite un pedido al proveedor, siempre y cuando el nivel de inventario llegue a su punto crítico (figura 8). Al pedido se le deben sumar las unidades que quedaron pendientes por despachar, en el pedido anterior, al cliente.

FIGURA No. 8. CONDICIONAL PARA SOLICITUD DE PEDIDO A PROVEEDOR



Fuente: Elaboración de los autores

Una forma de realizar el pedido podría ser considerando la tasa de demanda del cliente más un volumen adicional de cajas de cervezas dado, según el nivel de servicio requerido por almacén o teniendo en cuenta el nivel de retraso en la entrega de unidades, como se puede observar en la tabla 2.

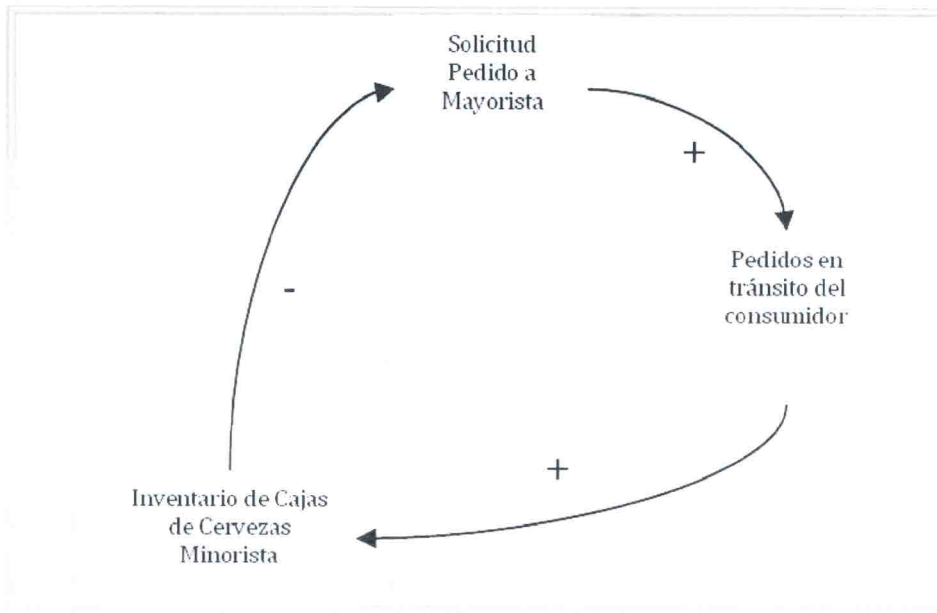
TABLA No. 2. EJEMPLOS DEL CÁLCULO DE PEDIDOS SEGÚN COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA

CASO	DESCRIPCIÓN
Demanda constante en razón del tiempo	Se mantiene el valor de pedido para almacén constante
Demanda de unidades varía de acuerdo a un comportamiento normal	Se realiza el pedido para almacén de acuerdo al nivel de servicio dado por el valor tipificado de la distribución (Z), la media y desviación de la demanda.
Demanda de unidades con crecimiento sostenido	Se ajusta el valor del pedido según la tendencia proyectada (regresión) calculada de la demanda de unidades a almacén
Teniendo en cuenta el tiempo de retraso	Equivale a la demanda periódica más una constante de pedidos (convenida por el nivel de inventarios deseado y actual) ajustada por el tiempo de retraso en el nivel de pedidos

Fuente: Elaboración de los autores

Los despachos de los proveedores aumentarían las unidades en existencias, del cliente, y se representa por una relación positiva en un solo sentido. De esta forma se conectarían todos los actores de la cadena en un ciclo retroalimentado, donde el cliente suministra información al proveedor a través de los pedidos y éstos proceden a despachar unidades a su cliente (figura 9).

FIGURA No. 9. RELACIÓN ENTRE CLIENTE Y PROVEEDOR



Fuente: Elaboración de los autores

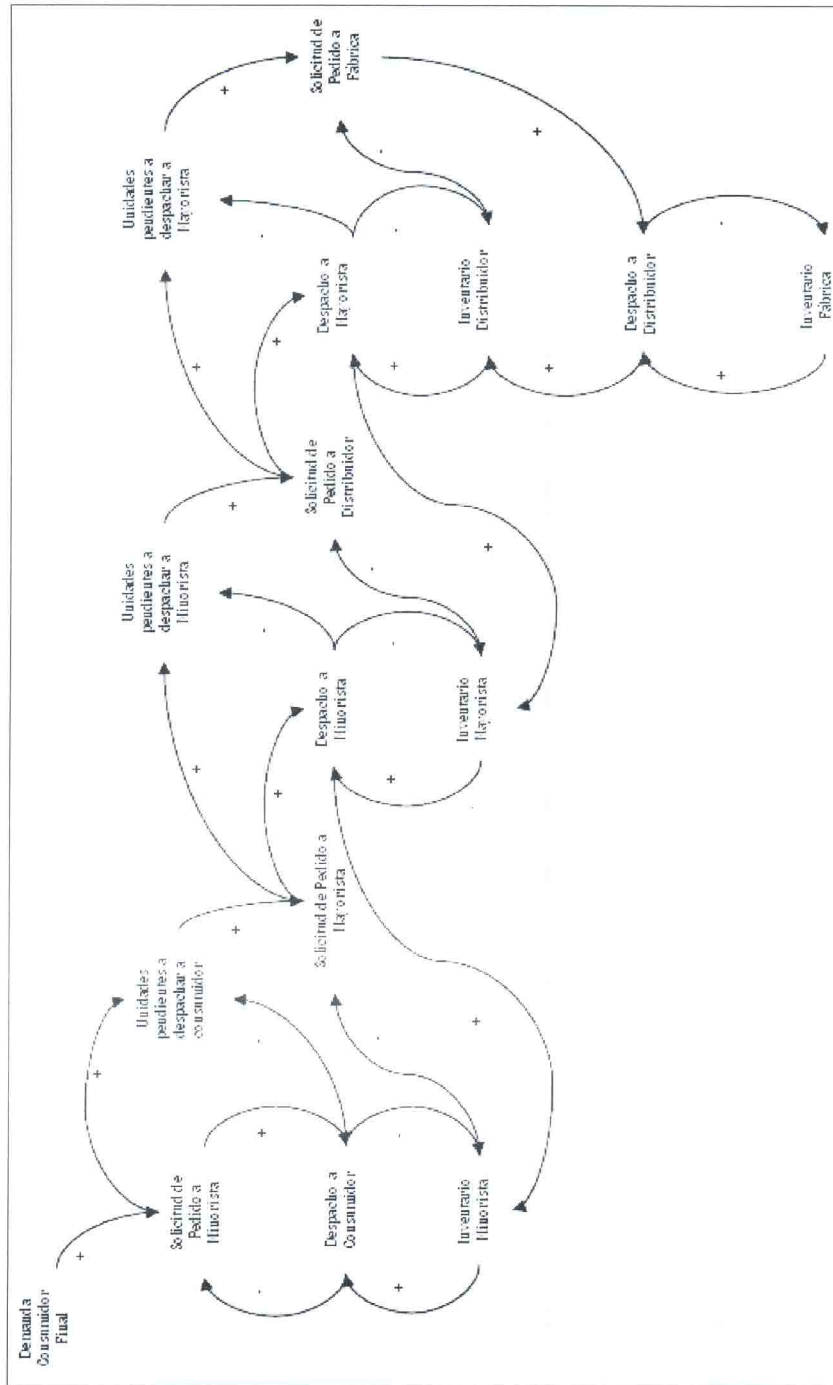
En la figura 10, se muestra el diagrama causal o de influencia completo involucrando los cuatro actores de la cadena de suministro para el juego de la cerveza.

Una vez identificadas las relaciones de causalidad entre las variables, se procede a validar el modelo como última fase, poniéndolo a prueba en un software de simulación de redes como el Vensim⁵. Para efectos de la simulación del juego de la cerveza se tendrán en cuenta algunas consideraciones adicionales:

- La demanda será generada de forma aleatoria basada en un comportamiento normal.
- El periodo de corrida de la simulación abarca un total de 40 semanas. En la figura 11 se muestra un ejemplo de la variable demanda para 40 semanas utilizando la función RANDOM NORMAL de Vensim para una media de 25.3 cajas de cerveza y desviación de 3.2 cajas por semana (el valor estará entre 20 y 30).

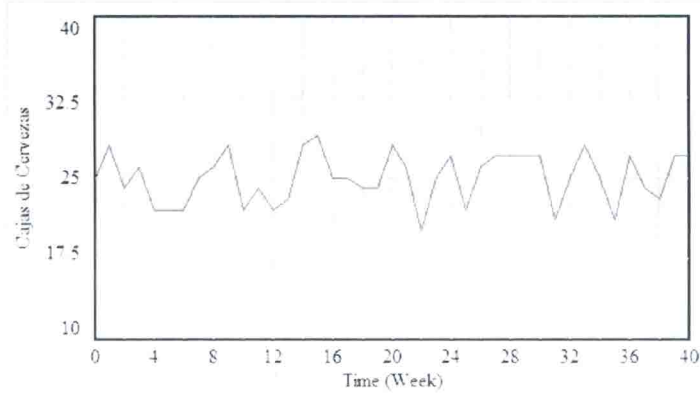
⁵ Vensim es propiedad de la empresa Ventana System.

FIGURA No. 10. DIAGRAMA CAUSAL O DE INFLUENCIA DEL JUEGO DE LA CERVEZA



Fuente: Elaboración de los autores

FIGURA No. 11. DEMANDA ALEATORIA BASADA EN UN COMPORTAMIENTO NORMAL



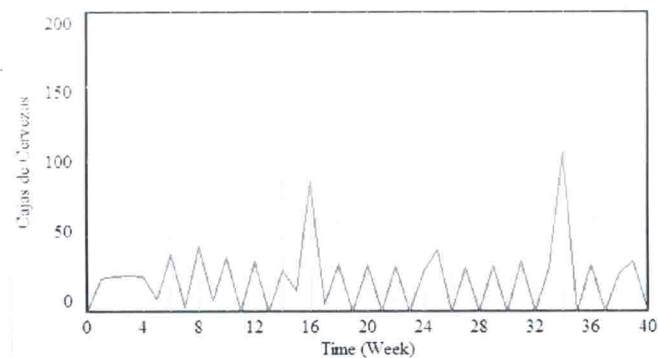
Fuente: Elaboración de los autores

- El inventario inicial de unidades para el minorista, mayorista y distribuidor será de 100 unidades.
- El productor posee disponibilidad permanente de la mercancía.
- El periodo de entrega de proveedor a cliente es de una semana.

RESULTADOS

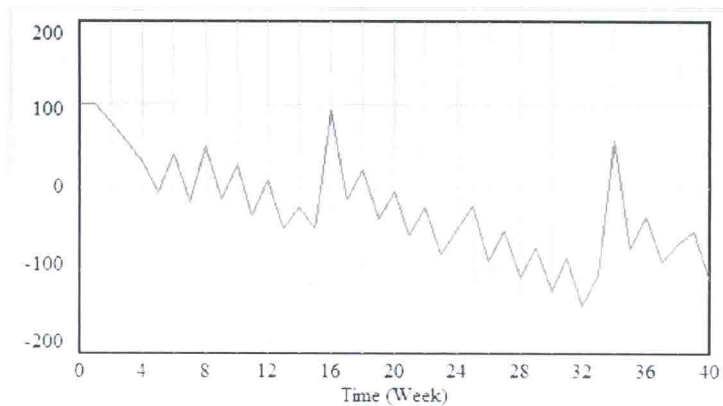
La primera situación que se observa en el Minorista, es que el volumen de unidades despachadas al consumidor presenta cierta inestabilidad a partir de la novena semana. Existen momentos en que no se despacha ninguna caja de cerveza al consumidor debido a que el minorista no posee existencias en inventario (ver figuras 12 y 13).

FIGURA No. 12. PEDIDOS EN TRÁNSITO DEL CONSUMIDOR



Fuente: Elaboración de los autores

**FIGURA No. 13. NIVEL DE INVENTARIOS DE MINORISTA
(INCLUYE LAS UNIDADES PENDIENTES)**



Fuente: Elaboración de los autores

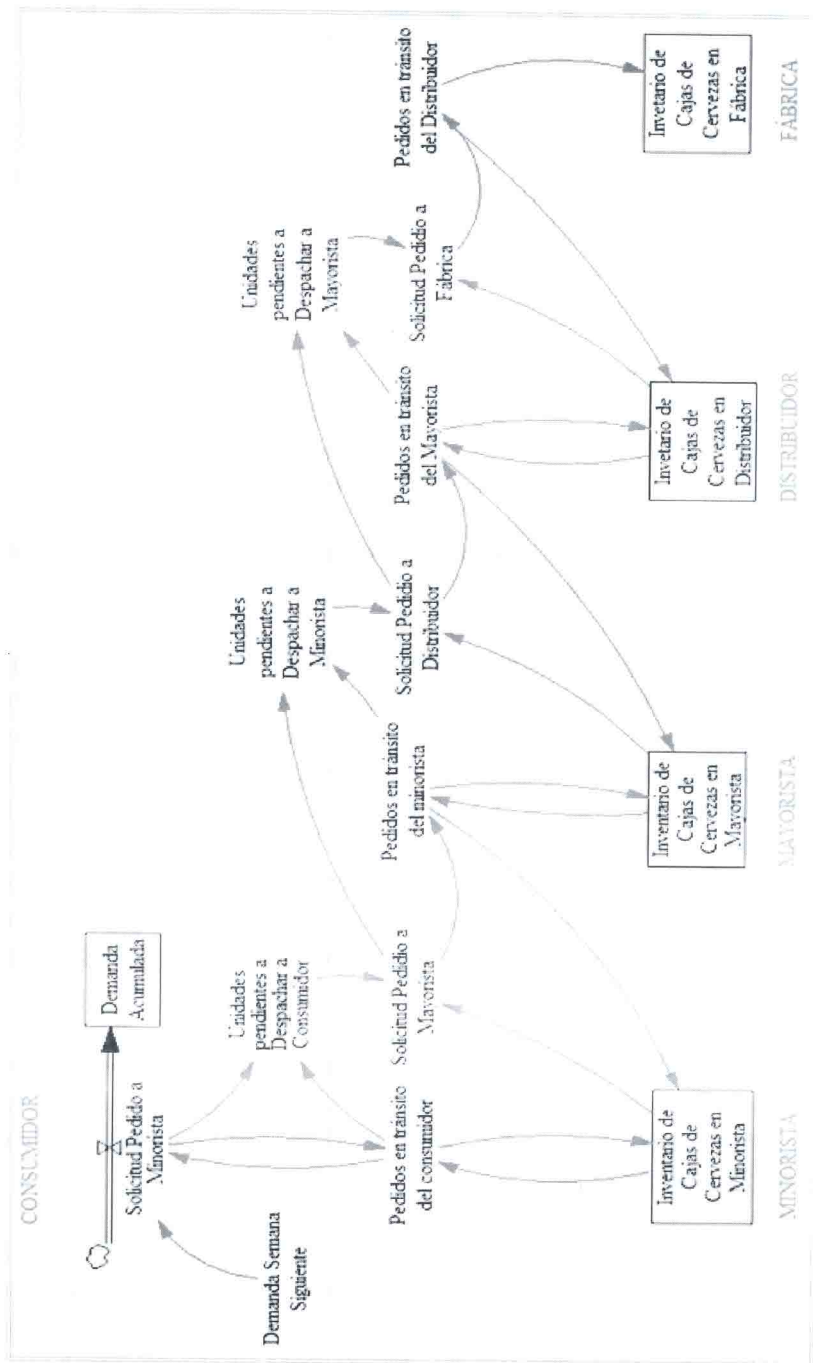
El modelo completo de la cadena de suministro elaborado en Vensim se puede observar en la figura 14.

A pesar de que existe muy poca variación en las unidades demandadas por los clientes del minorista, las ordenes de pedidos y niveles de inventario fluctúan en gran medida en todos los actores de la cadena de suministro. Este efecto, (conocido como fenómeno Bullwhip), amplifica la variabilidad de la demanda (21), incrementándose a medida que se sigue la cadena de suministro hacia el productor, aumentando el despacho de cajas de cerveza con el correr del tiempo. El minorista realiza el pedido en el punto en que su nivel de inventario baja a un valor crítico, momento en que se generan unidades pendientes, acrecentado el tamaño del próximo pedido al proveedor.

Debido al tiempo de retraso de mercancías entre proveedores y clientes, las unidades pendientes a entregar, en toda la cadena, se incrementan en razón del tiempo, haciendo que el volumen de pedido general en la cadena aumente (Ver figura 15).

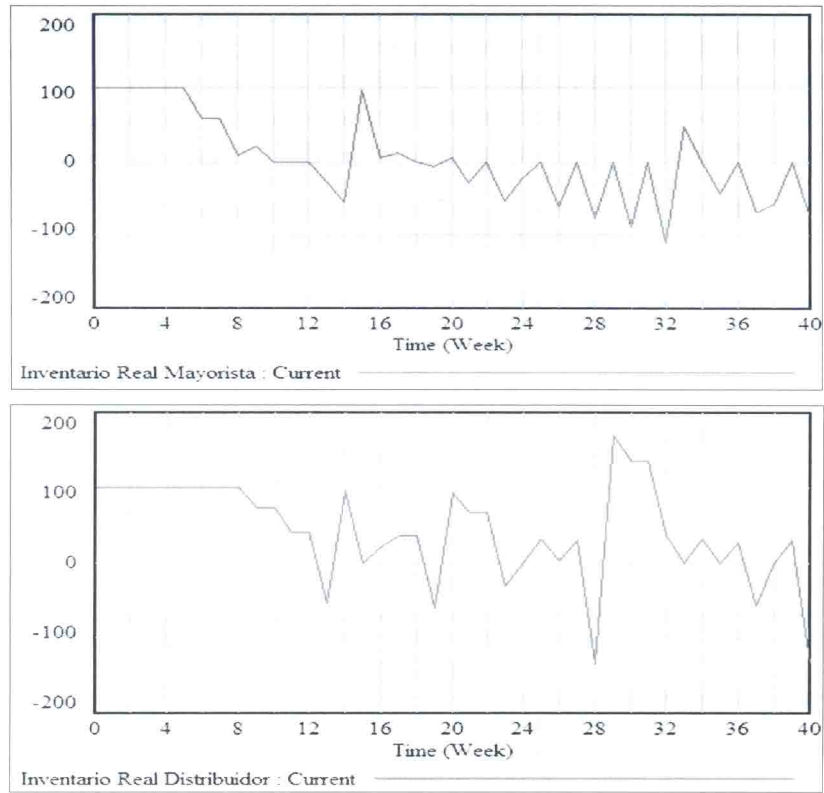
Las unidades pendientes al consumidor se incrementan a medida que el minorista realiza pedidos que no pueden ser despachados inmediatamente por el mayorista, hasta el momento en que éste posee el inventario suficiente para bajar la deuda con su cliente, para luego empezar nuevamente el ciclo (ver figura 16).

FIGURA No. 14. MODELO COMPLETO DEL JUEGO DE LA CERVEZA EN VENSIM



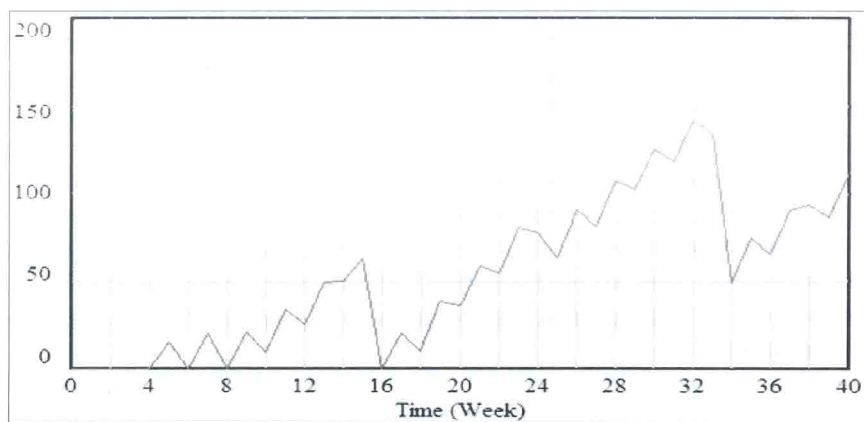
Fuente: Elaboración de los autores

FIGURA No. 15. NIVEL DE INVENTARIOS PARA MAYORISTA Y DISTRIBUIDOR



Fuente: Elaboración de los autores

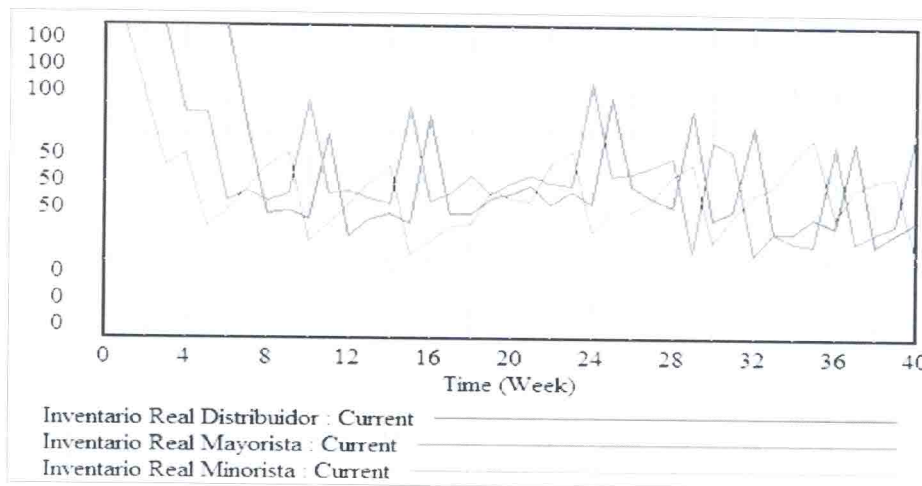
FIGURA No. 16. PEDIDOS PENDIENTES DEL MINORISTA AL CONSUMIDOR



Fuente: Elaboración de los autores

Este desfase de pedidos pendiente se logra controlar cuando se aumenta el punto de reorden, generando pedidos con mayor anticipación para así evitar el desabastecimiento de inventario. En la figura 17 se muestra el inventario efectivo de los actores de la cadena para un punto de reorden (aleatorio con comportamiento normal) equivalente a dos semanas promedio de demanda de unidades y tamaño de pedido para una semana.

FIGURA No. 17. NIVEL DE INVENTARIOS PARA MINORISTA
(PUNTO DE REORDEN AJUSTADO)



Fuente: Elaboración de los autores

CONCLUSIONES

El modelo propuesto en este artículo es una variante al diagrama planteado originalmente por Serman en 1989 (13), con el valor agregado de ser un modelo simplificado, más estable, con retroalimentaciones entre pedidos e inventarios, que independiza la solicitud del pedido como una variable enlace entre los inventarios y los despachos, e incluye un punto de reorden automático para la verificación del nivel de inventario, generando así una solicitud de productos al proveedor (como características que no se observan en el modelo original). Se toma como referencia el juego de la cerveza, por ser un buen mecanismo para comprender el comportamiento de la cadena de suministro teniendo en cuenta las falencias que esta presenta:

- La inflexibilidad en la estructura de la cadena del suministro
- La cadena del suministro es introducida como un sistema lineal,

descuidando efectos de decisiones de compañías que no son miembros de la cadena de suministro, pero que sus decisiones influyen en ella.

- Las restricciones de aptitud de los mismos actores.
- Las suposiciones poco realistas, como el retraso en transferir información, las cuales no reflejan el potencial de sistemas poderosos de comunicación de hoy.
- La inflexibilidad para cambiar los parámetros iniciales.

A pesar de que las variaciones de la demanda sigan un comportamiento normal, y se ajuste el pedido de unidades bajo esta condición con un nivel alto de servicio en almacén, podrá existir un desabastecimiento de mercancía originado en el momento en que el proveedor agote su inventario, acumulando unidades pendientes por despachar, que causan una alteración en el pedido del cliente generando un valor mayor para la siguiente semana. Un incremento en el punto de reorden permite corregir este efecto incremental en los pedidos pendientes.

Se recomienda en futuras investigaciones, explorar un sistema de retroalimentación completa entre actores para el modelo propuesto, que permita anticiparse a los cambios imprevistos en la demanda, lo cual permitiría amortiguar el efecto Bullwhip. Gracias a la simulación empleando DS se podrá observar los niveles de inventarios y probar distintos modelos, hasta comprobar aquél que mayor eficiencia presente a la cadena; una herramienta valiosa para gestión de almacenes en compañías dependientes de una cadena entre clientes y proveedores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Forrester J. W. The beginning of System Dynamics. The McKinsey Quarterly. 1995, 4 (1); 5-16.
2. Wyatt S. The potential of system dynamics. leading edge, The NHS Confederation. 2005, 1-5.
3. Richmond B. Ithink user manual. . New York: ISEE Systems, 1998.
4. Sterman J. D. System Dynamics Modeling: Tools for learning in a Complex World. California Management Review. 2001, 43 (4); 8-25.
5. Gigola C. Bullwhip Effect. Los efectos de una mala sincronización. Escuela de Negocios, 3(5), 10-19. 2001.
6. Budd J. The Academic Library: Its Context, Its Purpose, and Its Operation Missouri: Libraries Unlimited. 1998.

7. Coss Bu R. Simulación: Un enfoque practico. México: Limusa Noriega editores, 2002.
8. Parra C M, Pérez J I, y Torres D. Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas. *Ingeniería y Desarrollo*. 2006, 20 (1); 151-171.
9. Richmond B. Systems Thinking: Four Key Questions. *High Performance Systems*, 1991; 1-8.
10. Hieber R & Hartel I. Impacts of SCM order strategies evaluated by simulation-based 'Beer Game' approach: the model, concept, and initial experiences. *Production Planning & Control*, 2003. 14 (2); 122-134.
11. Towil D. R. Optimization of a Inventory and Order Based Production Control System. *International Journal of Production Research*, 20(6), 671-687. 1982.
12. Knolmayer G, Schmidt R, y Rihs, S. Teaching Supply Chain Dynamics Beyond the Beer Game. Institute of Information Systems, University of Bern, Working Paper No. 197. 2007, 1-15.
13. Serman J. D. Flight Simulators for Management Education: "The Beer Game". de Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology [Web] 2006 [Consultado el 03 de Febrero de 2010]. Disponible en URL: <http://web.mit.edu/jsterman/www/SDG/beergame.html>.
14. Serman J. D. System Dynamics Modeling: Tools for learning in a Complex World. *California Management Review*. 2001, 43 (4); 8-25.
15. Serman J. D. Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science*. 1989, 35 (1); 321-329.
16. John S, Naim M N y Towill D R. Dynamic analysis of a wip compensated decision support system. *International Journal of Manufacturing System Design*, 1(4). 1994.
17. Berry D. The analysis, modelling and simulation of a re-engineered PC supply chain. Cardiff: PhD Thesis. University of Wales. 1994.
18. Capozzi D, Del Vecchio D & Glielmo D. A Novel Work in Progress based Production Control System. aceptado a la European Control Conference 2003 (págs. 1-7). Cambridge: aceptado a la European Control Conference. 2003.
19. Campuzano F, Martínez E y Ros L. Cadenas de suministro tradicionales y colaborativas: Análisis de su influencia en la gestión de la variabilidad de la demanda. *Organización y dirección de empresas*, 85(1), 33-40. 2010.
20. Gordon G. Simulación de Sistemas. 1^{ra} Ed. México: Diana, 1980.
21. Lee H, Padmanabhan V y Whang S. Comments on "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect". *Management Science*. 2004, 50 (12); 1887 - 1983.