

Un modelo de dinámica de sistemas para la administración de inventarios

Publicación semestral de carácter técnico-científico / Escuela de Ingeniería de Antioquia –EIA–, Envigado (Colombia)
Revista Soluciones de Postgrado EIA, ISSN 2811-3854 / Año VI / Volumen 6 / Número 11/ Julio-diciembre de 2013 / pp. 121-135

Federico Liévano Martínez*, Juan Gabriel Villada Oquendo**

* Ingeniero industrial Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Máster en en Sistemas Inteligentes, Universidad Nacional de Colombia. Profesor asociado de la Fundación Universitaria Católica del Norte, Colombia.

Correo electrónico: flievano@ucn.edu.com

** Ingeniero industrial Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Profesor asociado de la Fundación Universitaria Católica del Norte. Máster en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Especialista en Mercados Energéticos. Profesor asociado de la Fundación Universitaria Católica del Norte, Colombia.

Correo electrónico: jgvillada@ucn.edu.com

UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

Federico Liévano Martínez, Juan Gabriel Villada Oquendo

Resumen

En este artículo se estudia la potencialidad que tiene la dinámica de sistemas para formular y analizar problemas relacionados con el manejo y control de sistemas de inventarios. En el estudio se hacen comparaciones con diferentes escenarios de simulación y se demuestra que con formulaciones de interacción de variables se pueden obtener resultados que pueden resolver problemas comunes asociados a la gestión de inventarios, como los puntos de reabastecimiento y cantidad óptima de pedido. El modelo de simulación y sus resultados demuestran que el uso de la dinámica de sistemas es una excelente alternativa para enfrentar sistemas de inventarios.

Palabras claves: administración de inventarios; cadenas de suministros; simulación de sistemas, dinámica de sistemas.

A SYSTEM DYNAMICS MODEL FOR INVENTORY MANAGEMENT

Abstract

In this article we study the potential of system dynamics methodology to formulate and analyze inventory management models. In this study we make comparisons with different simulation scenarios that demonstrate with formulations of interaction of variables is possible to face common inventory management problems as reorder points and optimal quantity orders. The simulation model and its results show that the system dynamics is an excellent alternative to deal inventory systems.

Keywords: Inventory Management; Supply Chain Management; Systems Simulation; System Dynamics.

UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA GERENCIAMENTO DE INVENTÁRIO

Sumário

Neste artigo, vamos estudar o potencial do sistema de metodologia dinâmica para formular e analisar modelos de gestão de inventário. Neste estudo, vamos fazer comparações com cenários de simulação diferentes para demonstrar que as formulações de interação de variáveis é possível face a problemas de gestão de inventário como pontos Reordenar e ordens da quantidade ideal. O modelo de simulação e seus resultados mostram que a dinâmica do sistema é uma excelente alternativa para tratar os sistemas de inventário.

Palavras-chave: Gerenciamento de inventário; Gestão da cadeia de suprimentos; Simulação de Sistemas; Dinâmica de Sistema.

Un modelo de dinámica de sistemas para la administración de inventarios

Federico Liévano Martínez, Juan Gabriel Villada Oquendo

Recibido 17 de septiembre de 2013 / Aprobado 29 de noviembre de 2013 / Discusión abierta hasta diciembre 2014
Revista Soluciones de Postgrado EIA / Año VI / Volumen 6 / Número 11 / Julio-diciembre de 2013 / pp. 121-135

1. Introducción

El control y la administración de inventarios es uno de los procesos más importantes en todo el ambiente organizacional que compete cualquier cadena de suministros. Dada la competitividad de los actuales mercados y la apertura de nuevas conexiones empresariales, la facilidad de la transmisión de la información, la expansión tecnológica y tratados económicos entre los países, se obliga a que las organizaciones optimicen todos sus procesos y, en particular, que posean una cadena de suministro óptima y competitiva (Baganha. 1998).

Los problemas de inventarios son abordados desde múltiples metodologías, como la simulación de eventos discretos, la investigación de operaciones y la economía, con modelos clásicos como el EOQ el cual, a partir de una minimización de costos, obtiene la cantidad óptima de pedido y los puntos de pedido, entre otros (Cardona *et al.* 2001). La complejidad que poseen este tipo de sistemas amerita que se continúen desarrollando estudios generales que contribuyan al entendimiento del sistema, dado su gran impacto en la cadena de suministros y la gran

cantidad de costos asociados a este proceso específico de operación.

Asimismo, los sistemas de inventarios están altamente ligados a las actividades específicas de cada organización lo cual hace complejo su modelamiento. La captura de información relevante dentro de los distintos procesos, las condiciones específicas de cada elemento de negocios o producto que se produce o comercializa en una cadena, hace que la generalidad en el control de inventarios sea un difícil reto de alcanzar.

También, la gran cantidad de variables que pueden estar asociadas a los procesos de administración o gestión de inventarios hacen que el sistema, en muchas ocasiones, se comporte de forma no lineal, se desconozcan las dinámicas internas del mismo, y lo más grave, que el sistema responda con comportamientos emergentes descontrolados que alteren toda la cadena y repercutan en altos costos operativos en las organizaciones. Esto amerita aproximaciones de modelamiento no lineal que involucren estas dinámicas (Harris *et al.* 1997).

La dinámica de sistemas ofrece una herramienta que permite afrontar los

problemas antes mencionados. Es una metodología que se basa en la formulación de sistemas por medio de su estructura sistémica, y la construcción de hipótesis dinámicas que se forman a partir de relaciones causales que capturan el comportamiento sistémico y los ciclos de retroalimentación entre las variables.

Este artículo muestra cómo una correcta formulación de modelos de dinámica de sistemas captura la complejidad entre las relaciones de las variables inmersas en los sistemas de inventarios, e igualmente, pueden establecerse escenarios de planeación en la administración de sistemas de inventarios.

2. Dinámica de sistemas y su aplicabilidad en el análisis

La dinámica de sistemas es un método que se usa para enfrentar problemas sistémicos complejos con la combinación de métodos cualitativos y cuantitativos, basada en la teoría de realimentación y con la fuerte influencia de la teoría general de sistemas y el modelamiento matemático, a partir de ecuaciones diferenciales (Forrester, 2006). Inicialmente se construye un modelamiento sistémico del problema, el cual se proyecta en tecnologías de simulación con las cuales se puede validar y verificar el acercamiento y la realidad del problema bajo estudio (Forrester, 1996).

Los modelos de sistemas están caracterizados por considerar un objeto de estudio como un sistema dinámico. Estos poseen cierta estructura interna y también son afectados por condiciones externas que inciden en el modelo. Dichos modelos sirven para ayudar a la toma de decisiones y al planteamiento de políticas de mejora en los sistemas. (Forrester, 1989).

2.1 Diagramas Causales

Los diagramas causales son una herramienta clave dentro del modelamiento de la dinámica de sistemas, herramienta que sirve para identificar los ciclos de realimentación y comportamiento interno de los sistemas. Ellos ilustran la estructura de realimentación del sistema y sirven para identificar los mapas mentales de tal, de las estructuras conformadas por varios elementos y para revelar patrones de comportamiento individual (Chae y Olson, 2007).

Los diagramas causales también son útiles en la elaboración y comprensión de los modelos, en la construcción de hipótesis dinámicas, y facilitan la obtención y transmisión de conocimiento. Su conceptualización parte de la simple definición de causalidad que representa el efecto (inmediato o retardado) que una variable puede tener sobre la otra (Sterman, 2000).

Los diagramas causales están conformados por variables que son unidas a través de flechas que determinan la relación causal entre ellas. La variable base (o la que causa el efecto) está posicionada en la base de la flecha y es la que produce el efecto

sobre la variable que se encuentra en la punta de la flecha (variable destino) (Perkins y Grotzer, 2005). La categorización del efecto o la relación causal se define por un símbolo de polaridad (+ o -) que depende si el efecto que causa la variable base sobre la variable destino es directamente proporcional (+), o por el contrario si el efecto es inversamente proporcional (-).

Identificadas las variables, relaciones causales y polaridades de todo el esquema se procede a definir los identificadores de ciclos o de realimentación. Estos se determinan a partir de una flecha curva en dirección de la evolución del ciclo, y pueden ser positivos o de refuerzo (R). Se tiene un ciclo de refuerzo si, al partir positivamente de una variable base y siguiendo el efecto sobre todas las variables que involucran en el ciclo, se regresa a ella de forma positiva, o lo que es lo mismo, cuando el producto de todas las polaridades inmersas en el ciclo da como resultado un valor positivo (Sterman, 2000).

De la misma manera pueden identificarse ciclos negativos o de balance (B) para los cuales al partir positivamente de una variable base se regresa ella después de recorrer todo el ciclo, de forma negativa, o por consiguiente, cuando el producto de todas las polaridades del ciclo da como resultado un símbolo negativo (-).

Otro aspecto importante que puede ser identificado con este tipo de estructura son los retardos implícitos dentro del sistema que afectan en gran medida los fenómenos reales. Como la caracterización

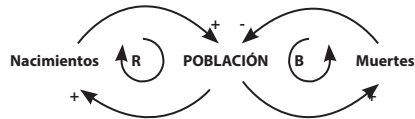


Figura 1. Ejemplo de Diagrama Causal.

Fuente: (Sterman. 2000).

de las variables se hace una a una, es fácil ver cuando el efecto no es inmediato y esto ayuda notablemente en la formulación final del modelo (Chandler y Boutilier, 1992).

La Figura 1 (Sterman, 2000) ilustra un ejemplo de diagrama causal para modelar el efecto de la variable nacimientos y muertes sobre la población. En el ejemplo se identifican dos ciclos realimentación, uno positivo y otro negativo que afectan la población de una localidad.

En general, los ciclos de refuerzo están asociados a comportamientos crecientes y decrecientes de las variables que se afectan en el ciclo. Los ciclos de balance, por el contrario, limitan el crecimiento de las variables.

La combinación de varios ciclos de estos dos tipos es suficiente para intuir los comportamientos dinámicos de los sistemas bajo estudio y facilitar el futuro esquema de modelamiento, puesto que para el diseñador es fácil identificar los siguientes aspectos: las variables relevantes del sistema, las interacciones y sus relaciones, los retardos, las dinámicas del sistema total y los ciclos de realimentación. De esta manera es más fácil extraer formulaciones matemáticas que conlleven al correcto modelamiento del fenómeno, dado que

las complejidades de los sistemas se pueden representar con estos aspectos de la metodología. Por ejemplo, en un sistema financiero para el flujo de caja se debe entender cómo los retardos en pagos afectan las inversiones posteriores y cómo las variables financieras pueden ir conectadas unas con otras.

La conformación de estructuras de este tipo ha definido conocidos arquetipos en la literatura. Estos son aquellas estructuras e hipótesis aceptadas que revelan comportamientos comúnmente encontrados en la realidad. El siguiente apartado habla de esta importante herramienta del pensamiento sistémico.

2.2 Diagramas de flujos y niveles

Los diagramas de flujos y niveles son representaciones gráficas usadas para desarrollar un análisis cuantitativo detallado de la estructura y comportamiento sistémico, representadas cualitativamente a partir de los diagramas causales. En dinámica de sistemas los diagramas causales son transformados en diagramas de flujos y niveles para estudiar y analizar el sistema de una manera cuantitativa.

Dichos diagramas son altamente usados en ciencias económicas y negocios, y campos relacionados, debido a que sus variables pueden ser fácilmente distinguidas entre flujos y niveles. Estos difieren principalmente de las unidades de medida y de su comportamiento en el sistema.

Las variables de tipo niveles (simbolizados con cuadros) son variables de estado, o lo

que es lo mismo, medidas en un tiempo específico. Estas representan la cantidad existente de una variable de interés en un momento dado en el tiempo que pudo haberse acumulado en el pasado. Adicionalmente, los niveles son entidades que se acumulan en el tiempo por flujos de entrada o se disminuyen por flujos de salida. Los niveles solo pueden ser afectados por esos flujos y matemáticamente un nivel puede ser visto como una integración de los flujos en el tiempo donde los flujos de entrada y de salida tendrían un efecto positivo y negativo respectivamente sobre el nivel.

Una variable de flujo es medida por unidad de tiempo y se puede considerar como tasas dentro del esquema de simulación. Cambian el nivel sobre el tiempo, pueden ser clasificadas como flujos de entrada y de salida, las cuales suman el nivel o restan el nivel respectivamente. Los flujos son medidos sobre cierto intervalo de tiempo como número de nacimientos por día, o número de estudiantes por año.

Por ejemplo, en contabilidad un nivel puede simbolizar el valor de un activo en un periodo dado, mientras que un flujo indicaría las posibles transacciones como ventas, adquisiciones, ingresos o gastos que se efectúan periodo a periodo en el sistema.

3. Estudio del control de inventarios a partir de dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas es una metodología apropiada para estudiar el control de inventarios en una cadena de suministros,

debido a que es capaz de capturar los ciclos de realimentación inmersos en la cadena y de modelar las no linealidades del sistema.

Asimismo, la metodología permite definir, integrar y formular cuantitativamente, las múltiples actividades asociadas en el problema de inventarios como la relación entre la producción y las ventas. Y los diagramas causales permiten esclarecer las dinámicas internas del sistema y las simulaciones computarizadas y plantear escenarios para identificar comportamientos emergentes del sistema. (Feng Yang, 2009) A continuación se explica la formulación de un problema general de inventarios por medio de dinámica de sistemas:

3.1 Hipótesis dinámica para el control de inventarios

Inicialmente se identificaron los elementos que componen el sistema de inventarios, para luego construir un modelo de simulación robusto del proceso. Luego se establecen conexiones causales entre ellos, basados en sistemas de inventarios reales y sus dinámicas.

Los elementos o variables introducidas en el análisis son: las dinámicas de producción, las ventas, la materia prima, los costos asociados en todo el proceso —los cuales están compuestos por costos de materia prima, costos de producción, costos de almacenamiento y costos asociados a la gestión de pedidos y administración de inventarios—, la demanda y el precio del producto. (Giannoccaro *et al.*, 2002).

Partiendo de esta identificación, se puede desarrollar un diagrama causal de estas variables, y siguiendo la metodología de dinámica de sistemas clasificar estas variables en flujos, niveles, variables auxiliares y parámetros.

La Figura 2. Ilustra el diagrama causal para el sistema de control de inventarios. El diagrama causal incluye 13 variables. De este se pueden analizar varias hipótesis dinámicas:

1. El inventario es afectado principalmente por la tasa producción y las ventas, los cuales están fuertemente influidos por la variabilidad de la demanda, del mercado y la fuerza comercial (Lambert, 1998).
2. La producción está influida por el nivel de inventario y por las dinámicas asociadas a la materia prima, los cuales incluyen disponibilidad, costos y compras de las mismas.
3. Los costos totales se conforman por los costos de producción, costos de materia prima, y costos de almacenamiento que incluyen los costos de almacenamiento, y costos de gestión de pedidos. Estos costos afectan significativamente el precio del producto y por consiguiente las utilidades netas.
4. El precio del producto afecta la demanda y, por consiguiente, el nivel de ventas por periodo.
5. De las utilidades surge una variable de planificación en la producción la cual puede repercutir en una disminución significativa en los costos de producción, si

constantemente se implementan planes de mejoramiento productivo.

6. Existe un ciclo de refuerzo de gran interés relacionado con el nivel de ventas. Si el nivel de ventas aumenta, disminuyen los costos de inventarios, los costos de almacenamiento, los costos totales, disminuye el precio del producto, aumenta la demanda y se incrementan las ventas. La retroalimentación de estas variables implica que un incremento en ventas afecta positivamente la demanda produciéndose más ventas.

7. Existe un ciclo de balance de gran interés asociado a la producción y sus dinámicas de costos. Al producir en gran cantidad se producen costos de producción afectando las utilidades netas, afectando posteriormente la capacidad futura de

producción. Por este motivo la producción debe ser controlada y planificada. Asimismo, altos costos de producción pueden afectar el precio del producto disminuyendo la demanda y las dinámicas crecientes de producción.

8. Otro ciclo de refuerzo interesante surge cuando se incorpora la mejora en planificación de la producción, lo cual repercute directamente en la disminución de costos, aumentándose las utilidades y permitiendo que se siga en una mejora progresiva en la planificación de la producción.

Igualmente, se establecieron retardos de primer orden en el efecto de los costos sobre el precio, y el impacto que tiene el incremento de las utilidades sobre las mejoras en la producción por la experiencia y la estandarización de los procesos.

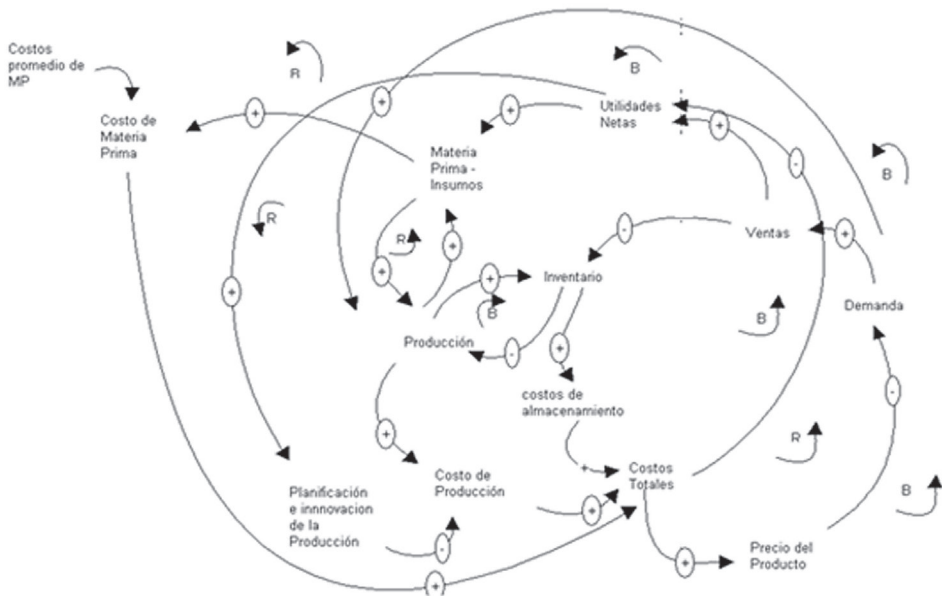


Figura 2. Diagrama causal de un sistema de inventarios general

3.2 Diagrama de flujos y niveles para el control de inventarios

A partir de la metodología de dinámica de sistemas nosotros podemos clasificar las variables anteriores en flujos, niveles variables auxiliares y parámetros. La Figura 3 ilustra de diagrama de flujos y niveles (Diagrama de Forrester) para el problema de análisis. Los niveles son: el inventario, con flujos de entrada de producción mensual y ventas mensuales; las utilidades, con flujos de dinero por ventas mensuales y dinero invertido por mes en innovación y desarrollo en su proceso de producción. Y un último nivel de población que posee un flujo creciente asociado a la tasa poblacional por mes.

Adicionalmente, se cuenta con variables auxiliares, las cuales tienen asociados los costos de materia prima, de producción y de almacenamiento. También se establece como variable auxiliar la demanda interna influida por escenarios de crecimiento poblacional. Asimismo, esta afecta otra variable auxiliar llamada precio del producto, junto con la producción y los costos totales. Como parámetros, se definen: el costo por unidad, la tasa poblacional, el efecto de la demanda en el precio, el impacto del precio sobre las ventas, la cantidad de materia prima por unidad, y el porcentaje de dinero que es invertido en innovación para la mejora de los procesos.

4. Análisis de resultados

Después de la construcción del modelo se chequearon dos aspectos fundamentales:

el primero asociado a la consistencia en las unidades modeladas que corresponden a cada variable y a las transformaciones realizadas en las distintas funciones matemáticas incorporadas. Segundo, se probó si el modelo corre adecuadamente y posee un comportamiento coherente con sistemas de almacenamiento guiados por políticas EOQ (*Economic Order Quantity*), los cuales establecen el tiempo y la cantidad óptima de pedido.

Ahora estudiaremos las características de comportamiento de un modelo construido con dinámica de sistemas para la administración de inventarios, a partir de escenarios de simulación que otorgan diferentes perspectivas de administración de inventarios basados en problemas prácticos. La Figura 4 corresponde a resultados del modelo sistémico del control de inventarios bajo un escenario base de operación con un nivel óptimo de inventario fijo de 300 unidades y un escenario de demanda creciente, acorde con el crecimiento poblacional. Se muestran resultados para un periodo de 30 días, dado que el comportamiento se repite para horizontes de planeación mayores y de esta manera podemos hacer análisis más detallados del comportamiento. Se usa *PowerSim Constructor* como el *software* técnico de simulación.

Los resultados obtenidos ilustran que la hipótesis de interacción de variables para los sistemas de inventarios planteado, no solo se acerca a lo que ocurre generalmente en los centros



Figura 3. Diagrama de flujos y niveles (Forrester) para el problema de administración de inventarios

de suministro y en las dinámicas de inventarios en las organizaciones, sino también a las formulaciones y modelos que son utilizados en la investigación de operaciones para aproximaciones estáticas y exactas de estos sistemas.

El gerente –o el coordinador del centro de almacenamiento– por lo general define un nivel mínimo de inventario o stock de seguridad, donde siempre puede atender su demanda sin incurrir en faltantes. Este nivel es establecido por la experiencia o por la intuición de trabajo con el mercado específico. De igual forma, existe un nivel máximo de inventario donde se activa una alarma que da una señal de que no es necesario seguir produciendo, dada la gran cantidad de producto terminado y los altos costos de almacenamiento.

La productividad de la organización entonces se mantiene estable a una tasa que depende de las ventas. Por lo tanto

se asume un incremento porcentual del inventario en ciertos periodos de tiempo dado que el equilibrio entre la oferta y la demanda difícilmente se alcanza en las organizaciones.

Este incremento marginal de inventarios se efectúa hasta llegar al inventario máximo. En este punto se repercute evidentemente en disminuciones en los planes de producción. Otro aspecto de interés en esta instancia es que las ventas tienden a aumentarse. Esto se efectúa con aumento en la fuerza comercial dada la necesidad de vender la gran cantidad de producto terminado que está en bodega sin generar liquidez, y la presión en ventas aumenta considerablemente bajo esta condición.

Además, el precio del producto toma su máximo valor cuando existe escases o el inventarios es mínimo.

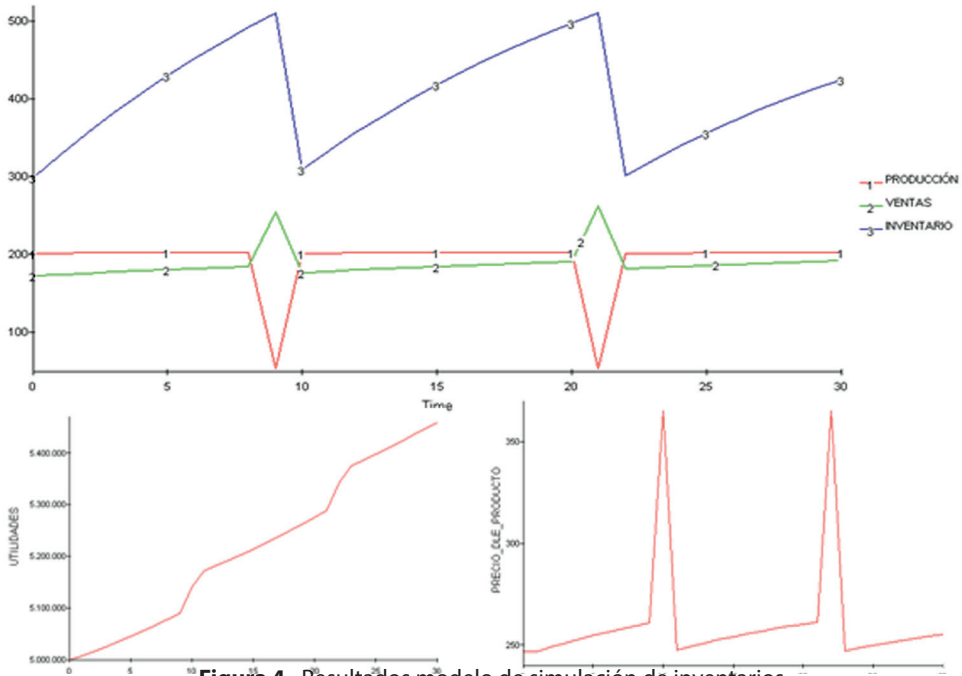


Figura 4. Resultados modelo de simulación de inventarios

Para este escenario las utilidades siempre dan crecientes y positivas; y el precio del producto varía acorde con las dinámicas del inventario. Cuando el inventario está alto, el precio disminuye circunstancialmente, y cuando se está en el punto de re-orden el precio del producto se hace alto, dada la percepción de gran necesidad del consumidor. Estos resultados son muy similares a los que se plantean en capítulos de libros de investigación de operaciones relacionados con teoría de inventarios, los cuales realizan una formulación cuantitativa a partir de funciones matemáticas para la estimación de costos, y derivación de las mismas para hallar sus máximos y mínimos (Hillier y Lieberman, 2001).

Analicemos ahora un escenario de gran interés que corresponde a que el precio del producto tiene un leve impacto en la demanda o en las ventas. Esto ocurriría en mercados inelásticos con relación al precio. En este caso observamos en las Figura 5 lo que esta condición de mercado implicaría en el mismo periodo de tiempo en mayores puntos de re-orden o reactivación de la producción. Esta condición hace que el mercado se vuelva más dinámico y que el nivel de ventas cambie rápidamente en el tiempo.

Otro escenario importante a simular ocurre cuando los costos de materia prima se encarecen y dificultan la producción. Para este escenario se obtiene los resultados de la Figura 6.

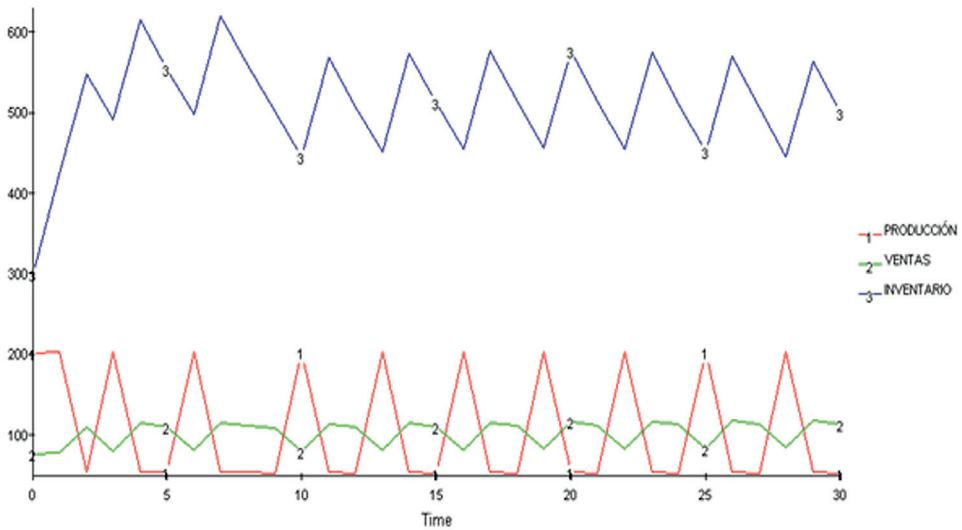


Figura 5. Administración de inventarios con mercado inelástico frente al precio

Este escenario muestra como un incremento significativo en los costos de la materia prima afecta directamente la producción y las ventas dado el encarecimiento del producto y la incapacidad para sostener la producción a largo plazo. El inventario tiene a disminuirse en el tiempo de simulación y llega a tener faltantes dada la incapacidad de producir lo suficiente para cumplir con la demanda. Note que los costos totales disminuyen debido a que se reducen significativamente los costos de inventario, y de producción. Pero no es suficiente para mantener la sostenibilidad de la organización.

Finalmente, se plantea el escenario en el que los costos de inventario y almacenamiento aumentan. La Figura 7 muestra los resultados para este escenario. En este se observa cómo al tener un inventario costoso es necesario evacuarlo rápidamente, lo cual

redunda en una disminución significativa del punto promedio de inventario, y en múltiples puntos de re-orden con el objetivo de disminuir costos de inventarios.

5. Conclusiones

En este artículo se estudia la potencialidad que tiene la dinámica de sistemas para formular y analizar problemas relacionados con el manejo y control de sistemas de inventarios. Los resultados de diversos modelos de simulación demuestran que el uso de la dinámica de sistemas es una excelente alternativa para enfrentar sistemas de inventarios.

En el artículo se desarrolla un modelo mental que enfrenta el complejo sistema de inventarios, y la problemática de tener una administración adecuada del mismo bajo diferentes condiciones de mercado y operación. Los resultados muestran que

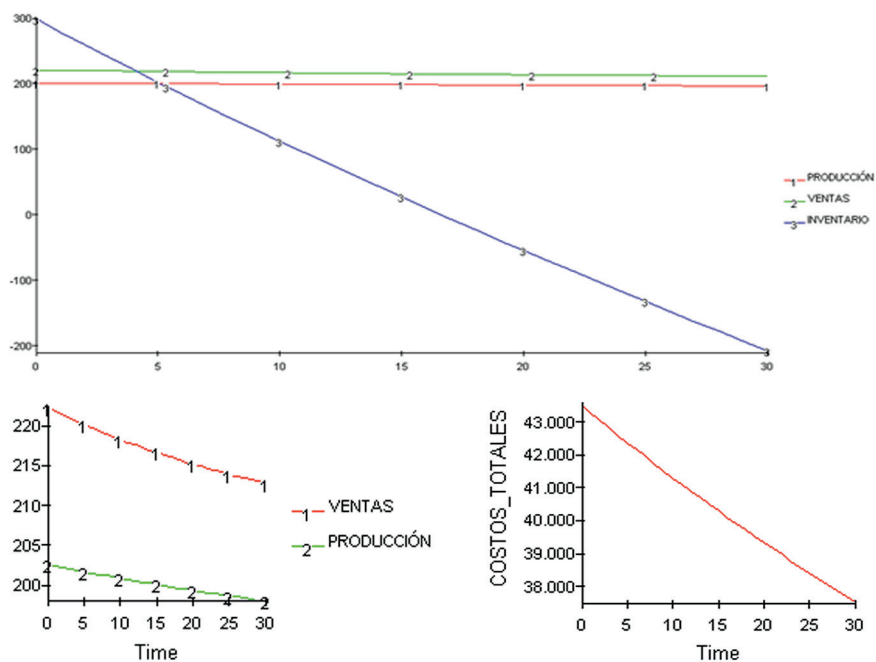


Figura 6. Administración de inventarios con encarecimiento del precio de las materias primas

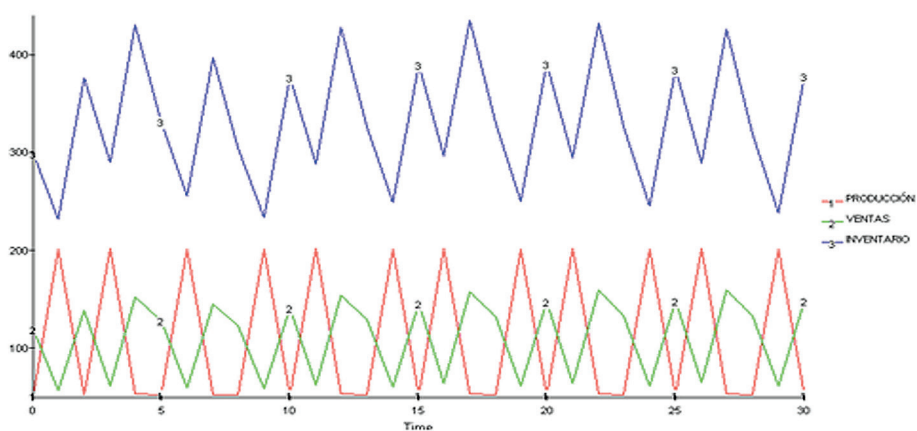


Figura 7. Administración de inventarios con encarecimiento del costo de almacenamiento.

la dinámica de sistemas es una herramienta efectiva para la toma de decisiones en sistemas de inventarios, ya que permite la formulación de modelos dinámicos que representan el proceso de inventarios involucrando diferentes variables de mercado y de operación.

A partir de la formulación de distintos escenarios de operación y el estudio realizado, se identificaron las siguientes dinámicas en el sistema de inventarios:

1. Cuando el inventario supera el promedio de estabilidad operativa el precio tiende a disminuir circunstancialmente, y cuando el proceso se encuentra en el punto de re-orden el precio del producto tiende a incrementarse, dada la percepción organizacional de la gran necesidad del consumidor.
2. En mercados inelásticos, con relación al precio, el nivel de ventas cambia rápidamente en el tiempo. Este resultado demuestra que el mercado mantiene ciclos de ventas más pronunciados y picos repetitivos, debido a que el precio no afecta significativamente las ventas.
3. Un incremento ostensible en los costos de la materia prima afecta directamente la producción y las ventas, dado el encarecimiento del producto y la incapacidad para sostener la producción a largo plazo. El inventario tiende a disminuirse en el tiempo.
4. Tener un inventario costoso conlleva a disminución significativa del punto promedio de inventario y en múltiples puntos de re-orden.

Referencias

- Baganha, M.P., Cohen M. (1998). The Stabilizing Effect of Inventory in Supply Chains. *Operations Research*, vol. 46, núm. 3, pp. S72-S73.
- Cardona Hernández, C.D., Cataño E., Correa A., Peña Zapata. G. E. (2001). Análisis de un sistema de inventarios en una PYME de confección. *II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*.
- Chandler, M., Boutilier, R. (1992). The development of dynamic system reasoning. *Contributions to Human Development* 21. pp. 121-137.
- Feng, Y. (2009). Study on Model of Supply Chain Inventory Management Based on System Dynamics. *International Conference on Information Technology and Computer Science*.
- Forrester, J., Senge, P. (1980). Test for building confidence in system dynamics models. *TIMS Studies in the Management Sciences*. Massachusetts Institute of Technology. V.14, pp: 209-228.
- Forrester, J.W. (2006). System Dynamics: the Foundation under Systems Thinking. Disponible en: <http://sysdyn.clexchange.org/sdep/papers/D-4828.html>.
- Forrester, J.W. (1996). The Beginning of System Dynamics. *Banquet Talk at the International Meeting of the System Dynamics Society, Stuttg* [5] Jay W. Forrester. System Dynamics and K-12 Teachers, A lecture at the University of Virginia School of Education, May 30.
- Forrester, J.W. (1989). Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century. *Keynote Address for System Thinking and Dynamic Modeling Conference for K-12 Education, Concord Academy, Concord, MA, USA, June 27-29, 1994* art, Germany, July 13.

- Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P. (2002). Inventory Management in Supply Chains: A Reinforcement Learning Approach. *International Journal Production Economics*, vol. 78 pp. 153-161.
- Harris, J.K., Swatman, P.M.C. (1997). Efficient Consumer Response (ECR): a Survey of the Australian Grocery Industry. *ACIS'97 — 8th Australasian Conference on Information Systems*, Adelaida; pp. 137
- Hillier, F.S., Lieberman, G.J. (2001). Introduction to operations research. ISBN 0072321695.
- Lambert, D.M., Stock, J.R., Ellram, L.M. (1998). Fundamentals of Logistics Management: Abridged Edition. New York, McGraw-Hill.
- Sterman, J. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a ComplexWorld. McGraw-Hill.
- Tersine, R.J. (1988). Principles of Inventory and Materials Management. New York: North-Holland (3rd ed.).
- Vergin, R.C. (1998). An Examination of Inventory Turnover in the Fortune 500 industrial companies. *Production and Inventory Management Journal*; vol. 39 (1), pp. 51-56.
- Vo, H.,V., Chae B., Olson D. (2007). Developing Unbounded Systems Thinking: Using Causal Mapping with Multiple Stakeholders within a Vietnamese Company. *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58, No. 5. pp. 655-668.