

Un modelo para el control de inventarios utilizando dinámica de sistemas

A system dynamics model for inventory control

*Um modelo para o controle de inventários
utilizando dinâmica de sistemas*

Hernán Samaniego

Universidad Politécnica Salesiana (Quito, Ecuador)
hsamaniego@ups.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.32719/25506641.2019.6.6>

Fecha de presentación: 6 de junio de 2019 • Fecha de aceptación: 12 de agosto de 2019

Artículo de investigación

Licencia Creative Commons



Resumen

El modelo administrativo para la gestión en el control de inventarios, diseñado y aplicado en una empresa productiva con el fin de potenciar su desarrollo utilizando la metodología de la dinámica de sistemas, facilita visualizar posibles resultados según las estrategias aplicadas. El artículo tiene como objetivo aplicar, en función de las necesidades puntuales del estudio de caso, variables específicas para el proceso de inventarios. Para tal fin, se utilizó la dinámica de sistemas en la gestión de inventarios, utilizando 56 insumos que forman parte del inventario y 18 variables. Los resultados principales apuntan a una producción superior al nivel del inventario, cuyo ajuste para llegar al nivel óptimo implica la compra de 2.500 unidades, ocasionando elevación del costo total. El modelo propuesto permitirá generar estudios posteriores en función de la gestión de los inventarios de la empresa, por cuanto es posible analizar el comportamiento dinámico de este sistema, incorporando variables que fortalezcan las operaciones empresariales.

Palabras clave: Control de inventarios, dinámica de sistemas, modelos.

JEL: C61 Técnicas de optimización; modelos de programación; sistema dinámico.

Abstract

The administrative model, for management in inventory control designed and applied in a productive company, in order to potentiate its development using the dynamics of systems methodology, facilitates to visualize possible results according to the applied strategies. The article aims to apply, depending on the specific needs of the study case, specific variables for the inventory process. For this purposes, system dynamics were used in inventory management, using 56 inputs that are part of the inventory and 18 variables. The main results aim to a higher production than the inventory level, whose adjustment to reach the optimum level implies the purchase of 2,500 units, causing the rising of total cost. The proposed model will allow to generate further studies based on the inventory management of the company since it is possible to analyze the dynamic behavior of this system, incorporating variables that strengthen business operations.

Keywords: Inventory control, systems dynamics, models.

JEL: C61 Optimization techniques; programming models; dynamic system.

Resumo

El modelo administrativo, para a gestão no controle de inventários desenhados e aplicados numa empresa produtiva, com o fim de potencializar seu desenvolvimento utilizando a metodologia de uma dinâmica de sistemas, facilita visualizar possíveis resultados segundo as estratégias aplicadas. O artigo tem como objetivo aplicar, em função das necessidades pontuais do estudo de caso, variáveis específicas para o processo de inventários. Para tal fim, se utilizou a dinâmica de sistemas na gestão de inventários, utilizando 56 insumos que formam parte do inventário e 18 variáveis. Os resultados principais apontam a uma produção superior ao nível do inventário, cujo ajuste para chegar ao nível óptimo implica a compra de 2.500 unidades, ocasionando a elevação do custo total. O modelo

proposto permitirá gerar estudos posteriores em função da gestão dos inventários da empresa, sendo possíveis analisar o comportamento dinâmico deste sistema, incorporando variáveis que fortaleçam as operações empresariais.

Palavras-chave: Controle de inventários, dinâmica de sistemas, modelos.

JEL: C61 Técnicas de otimização; modelos de programação; sistema dinâmico.

Introducción

La gestión de inventarios, o cadena de suministros, de una empresa de producción o de servicios, es uno de los puntos críticos que deben ser tratados prolijamente para generar una producción confiable, con la menor cantidad de recursos y costos, para alcanzar la calidad interna y obtener la satisfacción del cliente.

La gestión de inventarios es un asunto o aspecto complejo por cuanto las empresas enfrentan permanentemente dificultades para lograr un *stock* equilibrado y en muchas de las ocasiones se limitan a los conocimientos y habilidades de los administradores, los cuales no siempre encuentran el camino adecuado para alcanzar los objetivos establecidos por la organización (Rodríguez, Salazar y González 2018).

Los inconvenientes en la administración de inventarios son tratados desde diversos puntos de vista: investigación de operaciones, simulación con eventos discretos o con modelos econométricos, los cuales buscan satisfacer las necesidades de los administradores y, por ende, de la organización que los implementa conforme lo señalan Liévano y Villada (2013).

La evidencia señala que la gestión de los inventarios es un tema fundamental, tanto así que en México, “de cada cien pymes, setenta no sobreviven a un tiempo mayor a los cinco años, debido a que las empresas no tienen control en el manejo del inventario, ni cuentan con herramientas de apoyo” (Agudelo y López 2018, 75).

Televisa News (2017) señala, por ejemplo, que en los Estados Unidos, durante 2017, la representación del costo del inventario se encuentra entre el 30 y el 35% del valor de la empresa. Información que se complementa con lo señalado por Causado Rodríguez (2015), quien detalla que en los últimos años, específicamente a partir de 2009, en Latinoamérica la gestión de inven-

tarios ha visto surgir una estructura educativa en cuanto a la formación de cuadros directivos, profesionales y operativos, lo que ha ocasionado una evolución administrativa pero no en los porcentajes deseados o esperados por las empresas. Así, por ejemplo, en Colombia se presentan casos en las grandes, medianas y pequeñas empresas con relación al manejo del inventario, bien sea de materias primas, producto en proceso o producto terminado.

De la misma manera, se puede afirmar que el “78,3% de los negocios que se abren en dicho país sobreviven como máximo un año” (Agudelo y López 2018, 76), lo que evidencia que las empresas necesitan mejorar en varios aspectos relacionados con la gestión de inventarios para sobrevivir y mantenerse en el mercado.

En Ecuador, así como en otros países de Sudamérica, los inventarios son uno de los mayores activos dentro de los balances de las organizaciones, por cuanto estos contienen los materiales, los insumos, artículos o mercancías de que dispone la empresa para su comercialización, conforme lo señalan Asencio, González y Lozano (2017). Un ejemplo es el de una empresa dedicada a la fabricación de productos textiles, “la cual detuvo su actividad productiva por 15 días, por cuanto las unidades almacenadas en inventario de producto terminado excedieron la capacidad de almacenamiento y de operación de la empresa, impactando negativamente en sus resultados” (Agudelo y López 2018, 76).

Lo expuesto demuestra que la gestión de inventarios es compleja y es difícil de alcanzar un punto óptimo, lo que imposibilita, en gran medida, el manejo correcto o eficiente de los costos, y genera una gestión improductiva de los mismos. Estas deficiencias ocasionan disminuciones en la productividad de las empresas, con lo cual, una de sus posibles ventajas competitivas puede afectar su rendimiento productivo. Por lo tanto, en concordancia con Aracil (2007), en la actualidad es posible elaborar o diseñar modelos de simulación basados en sistemas dinámicos, los cuales son de gran ayuda porque permiten realizar análisis sistémicos, considerando la influencia de un determinado proceso o actividad.

Por lo dicho, la dinámica de sistemas es una herramienta que sirve para controlar y manejar de forma eficiente varios sistemas operacionales, los cuales, a través de simulaciones, permiten visualizar de manera muy cercana a la realidad el comportamiento y los cambios de los procesos en el tiempo (Sterman 2010). En concordancia con lo expuesto, el objetivo primordial

del presente trabajo es analizar el comportamiento de variables que conforman un sistema dinámico aplicado a la gestión de inventarios, conforme a requerimientos puntuales de las empresas, posibilitando la administración adecuada de los recursos para alcanzar resultados satisfactorios que permitan disminuir los costos de sus operaciones, incrementar la rentabilidad de sus utilidades y, por ende, su ventaja competitiva dentro del mercado en el cual interactúan.

En este trabajo se presenta un modelo de gestión para la administración y control de inventarios aplicado a una empresa con áreas productivas, para lo cual se utiliza la metodología de la dinámica de sistemas. Para ello se determinan variables, criterios y parámetros que posibilitan realizar análisis con el fin de que la empresa objeto de estudio aplique las mejores decisiones y pueda evaluar, con cierto nivel de anticipación, los posibles impactos que se generarían cuando dichas estrategias sean implementadas.

El presente trabajo tiene una estructura que analiza la gestión de inventarios y la dinámica de sistemas. Posteriormente, se describe la metodología utilizada para la obtención de las diversas variables necesarias para generar los modelos causales, y el diagrama de Forrester o diagrama de niveles, que posibilita realizar simulaciones que analizan de una manera crítica los resultados obtenidos al aplicar dicha técnica. Finalmente, se presentan las conclusiones.

Revisión de literatura

Gestión de inventarios y dinámica de sistemas

El entorno empresarial, en relación al control de inventarios, es un factor fundamental en el desempeño de una organización, por cuanto el rol que ocupa es importante para reducir los costos, con una alta probabilidad de éxito si su administración se ejecuta de manera planificada y eficiente; al administrar un sistema de inventarios es necesario reconocer que existen excesos, retrasos de material y demoras en la toma de decisiones (Román, Arbeláez y Patiño 2012). Partiendo de esta acotación, las empresas necesitan establecer políticas y estrategias claras de trabajo, para optimizar sus inventarios.

De acuerdo con este entorno, para el manejo y control de los inventarios existen múltiples maneras, modelos y herramientas para realizar un seguimiento y permitir la optimización de sus operaciones, específicamente de sus costos, por cuanto la palabra inventario se refiere a la verificación y control de los materiales o bienes de la empresa, de modo que se pueda regular las existencias con que se cuentan (Agudelo y López 2018). Por lo tanto, los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y logística de una determinada organización, hasta que el producto terminado llegue al cliente final (Ballou 2004).

Otros autores, en cambio, señalan que el objetivo principal en el control del inventario es optimizar las actividades de la empresa, basándose en tres aspectos fundamentales: servicio al cliente, costo de inventario y costos operativos, lo que facilita a estas organizaciones conocer la disponibilidad de los diversos materiales o insumos que utilizan para los diferentes productos o servicios que ofrecen (Zapata 2014). Considerando lo señalado en líneas anteriores, la gestión de inventarios puede estudiarse de diversas maneras, y una de ellas es la dinámica de sistemas, que consiste en una metodología ideada para analizar y simular problemas en tiempo real, de modo que se pueda comprender el comportamiento del sistema por medio de interacciones, que serán las que determinen cambios en el mismo (Aracil 2007).

Por lo tanto, existen estudios en administración de inventarios que utilizan dinámica de sistemas; así, por ejemplo, Liévano y Villada (2013) realizan un modelo en el cual las variables que lo constituyen forman diagramas causales con funciones matemáticas incorporadas, probando que su comportamiento sea coherente con sistemas de almacenamiento, guiados por políticas relacionadas a la cantidad de lote económico; estos diagramas establecen el tiempo y la cantidad óptima de pedidos. En cambio, Andrés, Sanchis y Poler (2016) establecen un modelo, mediante la utilización del *software* AnyLogic, para comparar dos tipos de cadenas de suministros, denominadas colaborativa y no colaborativa. La primera representa la cadena de suministro colaborativa a través del intercambio de demanda inicial; en tanto que la no colaborativa se centra en aspectos relacionados a proveedores y fabricantes, en intervalos de tiempo no específicos y demandas variables.

Liévano (2015) efectúa un estudio de la gestión de inventarios, en el cual incluyen ciertas variables aleatorias que permiten visualizar y analizar las diferentes diversificaciones que estas presentan, considerando que el objetivo fundamental de su trabajo es demostrar que el nivel de inventarios de las empresas no debe seguir un comportamiento oscilatorio de sube y baja constante, sino más bien un patrón asociado a las dinámicas de la demanda y las interacciones entre las variables del sistema.

La teoría de sistemas o teoría general de sistemas trata de integrar cada una de las actividades de una empresa como un todo, aplicable a través de esta metodología, la cual se fundamenta en concebir cualquier aspecto del mundo como la interacción causal entre atributos que lo describen. De esta forma, se construyen representaciones sistémicas con flechas y puntos, denominadas diagramas causales, que capturan todas las hipótesis propuestas por el modelador, desde las que se puede aprender del sistema para intervenir sobre él, en el ejercicio de decisión (Samaniego y Pascual 2017). Esta metodología, creada y desarrollada por Forrester, “permite estudiar el comportamiento de cualquier tipo de sistemas, los cuales a través de características de realimentación logran o alcanzan una integración entre los flujos de información que conforman el sistema objeto de estudio” (Angerhofer y Angelides 2000, 343).

Por lo tanto, la dinámica de sistemas posibilita estudiar la gestión de inventarios en diversas cadenas de suministros, materiales almacenados o en tránsito, porque es capaz de analizar los ciclos de alimentación y retroalimentación involucrados, facilitando modelar las no linealidades presentes en un sistema. De la misma forma, esta metodología permite examinar, determinar, constituir y formular cuantitativamente los procesos y las actividades asociadas a los problemas de inventarios que se pueden presentar o registrar en una empresa u organización (Liévano y Villada 2013).

En conclusión, la dinámica de sistemas es la representación verbal de sistemas complejos que carecen del rigor formal necesario para valorar su coherencia lógica y para generalizar situaciones a partir de ellos. Es posible realizar este tipo de simulación utilizando técnicas de modelado computacional porque se pueden construir sistemas que combinan la riqueza descriptiva de los modelos verbales con el rigor formal de los modelos matemáticos más abstractos, con lo que se ratifica que esta metodología permite analizar y mo-

delar el comportamiento de cualquier entorno complejo sistémico, facilita la presentación de escenarios futuros y optimiza recursos y tiempo a quienes lo utilizan; por ello, en este caso específico es posible ejecutar el análisis de la gestión de inventarios utilizando la metodología descrita (Izquierdo, Galán, Santos y Del Olmo 2008).

Metodología

El método de investigación empleado se basó en un caso de estudio. La unidad de análisis es una empresa de producción, cuyo giro de negocio es la fabricación de bebidas gaseosas. La parte deductiva de esta exploración estuvo centrada por etapas; en la primera, se revisó la literatura pertinente sobre la gestión de inventarios, dinámica de sistemas y la relación existente entre estas.

La segunda etapa inició con la obtención de las variables para el modelo diseñado; para ello, se ejecutaron entrevistas no estructuradas a manera de conversatorio, lo que facilitó definir la profundidad del contenido y recopilar información, estableciendo, de esta manera, las variables que debían formar parte del modelo. En las entrevistas no estructuradas participaron directivos, jefaturas, supervisión y personal operativo de la organización, cuyas actividades laborales estaban directamente relacionadas con la gestión de inventarios dentro de la empresa. Esta actividad permitió encontrar las variables que afectan a este tipo de organización y, por consiguiente, formaron parte del modelo. Además, se utilizaron como insumos los modelos diseñados por Sterman (2000) y García (2014), los cuales fueron adoptados para la investigación.

Las variables encontradas pasaron por un proceso de depuración, mediante un análisis de validación; en este proceso se contó con la participación de siete personas expertas en el tema objeto de investigación, las cuales validaron las variables en función de claridad, pertinencia e importancia. Por último, conforme a los resultados emitidos por los expertos, se ejecutó un análisis de correlaciones en el sistema informático estadístico SPSS, lo cual permitió especificar las variables que forman parte del modelo diseñado. Así, por ejemplo, la relación existente entre la tasa de uso de materiales y la

proporción de uso de material (Relación de Pearson = 0,276 y un valor $p = 0,000 < 0,01$), o las variables cobertura de inventario de material deseado y el inventario del material deseado (Relación de Pearson = 0,365 y un valor $p = 0,013 < 0,05$), lo que confirma de manera cuantitativa que las variables del modelo se encuentran relacionadas entre sí, facilitando la generación del modelo final.

En concordancia con lo anteriormente expuesto, el sistema informático SPSS arrojó los siguientes resultados de correlaciones (tabla 1).

Tabla 1
Resultado de correlaciones entre las variables inventario de materiales y tasa de uso de materiales

		Inventario de materiales	Tasa de uso de materiales
Inventario de materiales	Pearson Correlation	1	.259**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	56	56
Tasa de uso de materiales	Pearson Correlation	.259**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	56	56

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (dos colas)

Elaboración propia.

Este tipo de análisis permitió determinar las variables que forman parte del modelo diseñado: estadísticamente los valores de correlación de Pearson son mayores a cero, lo que demuestra una correlación directa entre las variables inventario de materiales y tasa de uso de materiales, soportada adicionalmente por un valor de significancia menor a 0,01, lo cual ratifica la correlación existente entre estas variables.

En consecuencia, al ejecutar el análisis completo conforme a lo detallado en líneas anteriores, las variables específicas utilizadas en el modelo se describen en la tabla 2.

Tabla 2
Variables que intervienen en el modelo de control de inventarios

N.º	Variable	Función
1	Inventario de materiales	Nivel
2	Tasa de entrega de materiales	Flujo
3	Tasa de uso de materiales	Flujo
4	Tasa de entrega de material deseado	Variable auxiliar
5	Ajuste por inventario de material	
6	Tiempo de ajuste de inventario de material	
7	Máxima tasa de uso de material	
8	Proporción de uso de material	
9	Cobertura de inventario de material mínimo	
10	Cobertura de inventario de material deseado	
11	Inventario de material deseado	
12	Cobertura de existencia de seguridad de material	
13	Tasa de inicio de producción deseada	
14	Uso de material por unidad	
15	Producción factible que inicia desde materiales	
16	Tabla para uso de material	
17	Tasa de inicio de producción	
18	Tasa de uso de material deseado	

Elaboración propia.

Por lo tanto, al obtener las variables utilizando este tipo de metodología, el modelo fue diseñado mediante la utilización del sistema informático Vensim, acompañado de un método estructurado, sistemático y analítico, revisando diferentes aspectos y componentes articulados como un sistema, con la finalidad de desarrollar dicho modelo que facilite la administración del inventario y permita resolver los problemas existentes con abastecimiento de ajuste dinámico de materias primas, materiales o insumos dependiendo del comportamiento de sus ventas.

Una vez determinadas las variables, mediante la utilización de datos históricos de ventas y operaciones, se ejecutaron simulaciones de posibles escenarios que podrían presentarse en cualquier período de tiempo, según las necesidades de la empresa. Finalmente, se evaluaron los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones, mediante la utilización de un enfoque inductivo.

La información inicial o histórica fue proporcionada por la empresa objeto de estudio, partiendo de la revisión de los estados financieros, balances contables, estadísticos de ventas y operaciones de producción, por lo que en el apartado de resultados se pueden visualizar los diagramas causales principales, el diagrama de Forrester, la validación del modelo y algunos de los escenarios que podrían presentarse a través de las simulaciones respectivas.

En tal virtud, el modelo diseñado y generado bajo la metodología de la dinámica de sistemas puede ser considerado de abstracción alta, por cuanto estudia elementos puntuales y de detalle riguroso que han sido explorados y aprobados por expertos en el ámbito de la gestión de inventarios. Asimismo, se incluyen variables que posibilitan ver las diferentes fluctuaciones que podrían presentar en función de los escenarios propuestos, incorporando para aquello variables de incertidumbre y estocasticidad.

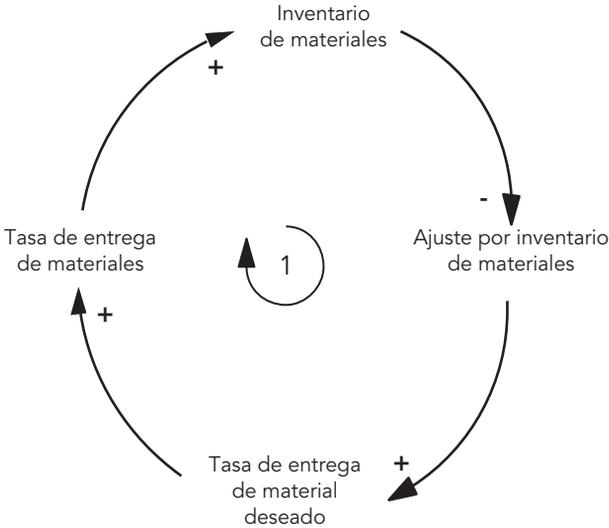
Por lo tanto, mediante la aplicación del modelo diseñado, es posible demostrar que el nivel de inventarios de la empresa no debe seguir un comportamiento constante hacia arriba o hacia abajo, sino más bien un patrón asociado a la demanda de su producción y a las interacciones entre las variables más significativas del sistema generado (Chu 2011).

Resultados

El modelo diseñado tiene su origen en la configuración de diagramas causales, los cuales constituyen la base para la generación del diagrama de flujo, también denominado diagrama de Forrester. En los bucles que conforman estos diagramas se pueden visualizar las relaciones y retroalimentaciones que existen entre las variables que conforman dicho modelo. En la figura 1, el diagrama causal que corresponde al bucle que se le podría denominar control de materiales, el cual está conformado por las variables: inventario

de materiales, ajuste por inventario de material, tasa de entrega de material deseado y tasa de entrega de materiales. Este bucle demuestra su estabilidad por cuanto el poseer una variable negativa le permite adquirir equilibrio, obteniendo así una trayectoria estabilizadora.

Figura 1
Diagrama causal de inventario y ajuste por inventario de materiales



Elaboración propia.

El sistema de bucle (figura 1) busca una estabilidad en la variable de inventario de materiales, a través de la reducción de la variable denominada ajuste por inventario de material, la misma que actúa como variable auxiliar y se la considera decisiva dentro del sistema; por lo tanto, el cálculo del incremento o disminución del inventario de materiales en relación al ajuste por inventario de material se encuentra expresado en la ecuación 1:

$$A = \frac{Q_f}{Q_i} \left[\frac{1}{f-i} \right] - 1$$

Donde:

A = tasa de crecimiento o disminución del inventario.

Qf = cantidad en el período final, f

Qi = cantidad en el período inicial, i

Con esta ecuación, es posible determinar la tasa de crecimiento o disminución de cada una de las variables que conforman el sistema o bucle para cualquier período, por cuanto la cantidad y calidad de información disponible en cada una de las variables es diferente.

En la figura 2 se muestra el diagrama causal, que se refiere al inventario de materiales, cuya relación es directa con la variable denominada tasa de uso de materiales, sean estas tasas al máximo o a la proporción que se requiera para ser utilizada. El bucle también es estable por cuanto el sistema representa una acumulación o una disminución del inventario del material, conforme se presente en un momento determinado, lo que permite admitir que existe una acumulación de acciones y asumir que la relación entre el inventario de materiales, la cual se denomina X para efectos de ecuación y la acción de tasa de uso de materiales, la cual se denomina Y para efectos de ecuación, está dada por la ecuación

$$\frac{dx}{dt} = Y$$

Se considera que el bucle formado en la figura 2 es un estado de acumulación que permite detallar la ecuación 3.

$$X = \int_0^t Y dt$$

Las demás variables del bucle son positivas, y vienen proporcionadas de acuerdo con las ecuaciones 4 y 5, según se detalla a continuación.

$$Y = KZ$$

$$Z = Xd - X$$

En tal razón:

Z = la variable de proporción de uso de material (discrepancia).

Xd = la variable o el objetivo deseado, en este caso la variable tasa de uso de materiales.

De las dos últimas ecuaciones se obtiene la ecuación 6.

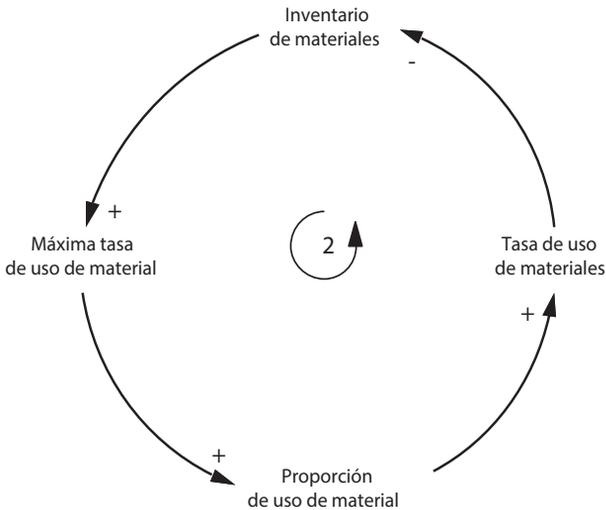
$$Y = K(Xd - X)$$

Sustituyendo la ecuación 6 en la ecuación 2, se obtiene la ecuación 7.

$$X(t) = Xd + [X(0) - Xd].e^{-kt}$$

En tal virtud, la ecuación 7 representa la evolución temporal de las variables del sistema o bucle, de acuerdo con los requerimientos que el modelo o sistema desea encontrar.

Figura 2
Diagrama causal de inventario de materiales y tasa de utilización



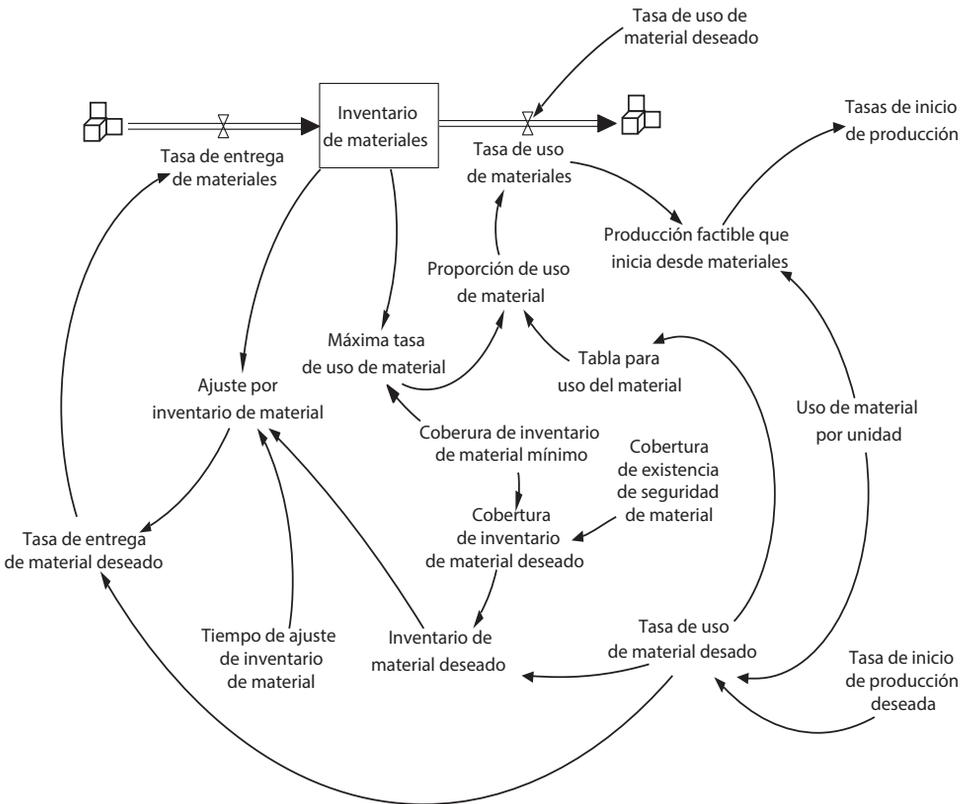
Elaboración propia.

Los diagramas causales representados en cada una de las figuras son insumos para el diseño del modelo desarrollado; en otras palabras, para la generación del diagrama de flujos y niveles que permiten ejecutar simulaciones, análisis de resultados y otros.

El modelo diseñado y generado puede visualizarse en el figura 3, el cual está conformado por variables relacionadas a la gestión de inventarios y, fun-

damentalmente, por diagramas causales que permiten que el modelo guarde una estabilidad adecuada para que ninguna variable presente un escenario de crecimiento o colapso. Esto es posible por cuanto el modelo está formado por diagramas causales positivos y negativos, que facilitan la obtención de trayectorias estabilizadoras, permitiendo que el modelo adquiera un equilibrio claro y preciso en sus resultados.

Figura 3
Diagrama de flujos y niveles



Elaboración propia.

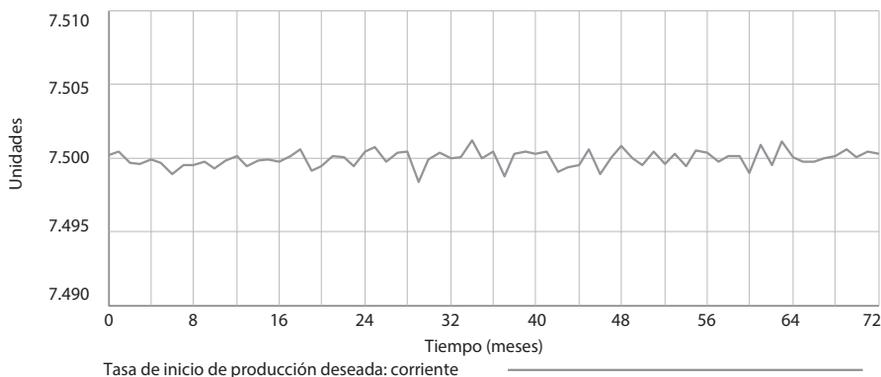
Validación del modelo

La generación de modelos, basados en dinámica de sistemas, en la mayoría de los casos es una actividad cognitiva, porque generalmente su diseño y uso permiten entender su entorno analítico, lo que trae como consecuencia que el modelador enfrente inconvenientes epistemológicos y computacionales, por cuanto en muchas ocasiones estos sistemas carecen de teorías científicas que los puedan sustentar (Godoy y Bartó 2002). El modelo diseñado en la figura 3 responde al compendio del conocimiento de modelos mentales y acciones relevantes; considerando para esto que ningún modelo en cualquier campo a estudiarse reflejará en su totalidad los comportamientos reales. Para su validación fue sometido a una de las pruebas sugeridas por Sterman (2000) y Bianchi (2016).

Los autores mencionados especifican que el arte de construir modelos es la descripción causal, que muestra la operación de un sistema real en aspectos relacionados con sus variables, asegurando la efectividad y eficiencia de políticas, alternativas o estrategias elaboradas para la mejora del comportamiento de dicho sistema, permitiendo entender su complejidad para generar escenarios que ayuden a la mejora en la toma de decisiones de los actores involucrados, sean estos internos o externos. Por tal motivo, el figura 4 muestra el comportamiento de la variable denominada tasa de inicio de producción deseada en un lapso de tiempo equivalente a 36, considerando que esta variable es fundamental para su análisis, por cuanto especifica el punto de origen o el inicio del inventario para el arranque de la producción, conforme a la planificación que la empresa desee.

Por consiguiente, al analizar el comportamiento de esta variable en el período de tiempo especificado, se observa que refleja la realidad de su comportamiento histórico, obtenido a través de la recolección de datos; en consecuencia, al evidenciar esta realidad en esta fase mediante la aplicación de datos recopilados en la empresa, se considera que el modelo diseñado es válido para su empleo en la organización objeto de estudio.

Figura 4
Tasa de inicio de producción deseada



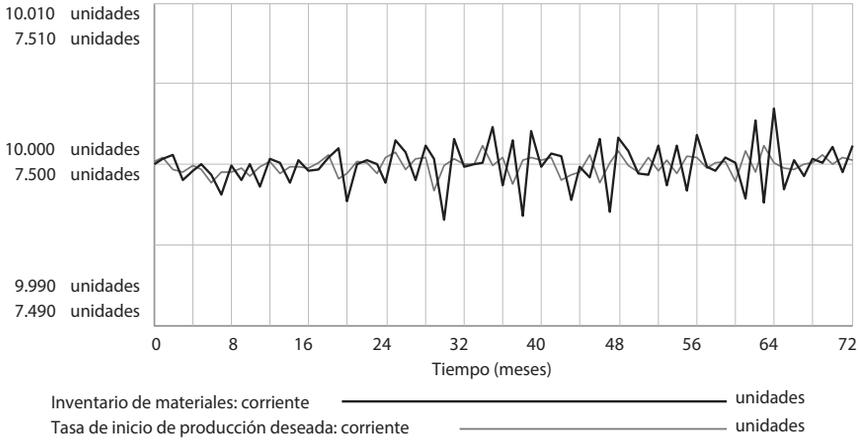
Elaboración propia.

Análisis de resultados

El modelo diseñado, de acuerdo con la metodología de la dinámica de sistemas, se simuló por un lapso de tiempo de 72 meses, con el fin de lograr un mejor control de su inventario con la consecuente disminución de costos por la administración de este proceso. Por lo tanto, en la figura 5 se observa cómo las variables simuladas en el mes cero tienen un punto de origen muy similar; pero, con el transcurso del tiempo, la tasa de producción deseada es menor al inventario de materiales, lo que origina que, sin existir una abultada diferencia, hay una disparidad entre estos dos elementos, ocasionando costos por la presencia de un inventario o unidades sin utilizar para su producción; esta divergencia se mantiene en el tiempo, y en ciertos meses específicos la diferencia se acentúa.

En consecuencia, el modelo obtenido sería una estrategia real de mejora para la empresa, ya sea que disminuya el inventario existente o incremente su tasa de inicio de producción; lo que permitiría en un futuro obtener un conocimiento claro de la diversificación de las variables que conforman el modelo, propiciando un significativo ahorro de dinero y de tiempo.

Figura 5
Simulación: inventario de materiales y tasa de inicio de producción deseada

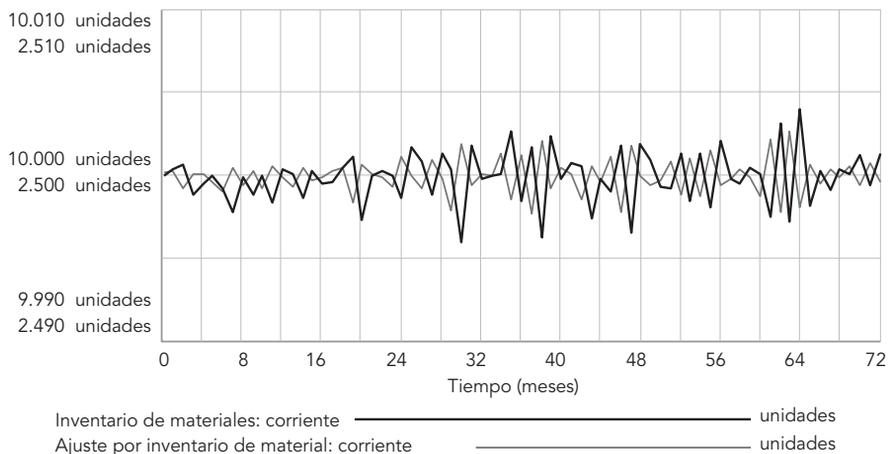


Elaboración propia.

En concordancia con lo anterior, por ser la variable inventario de materiales la principal generadora de costos o ahorros del proceso de control de inventarios, la figura 6 complementa lo señalado y demuestra que la producción está sobre el nivel del inventario y que el ajuste necesario para alcanzar su nivel óptimo es el incremento o compra inmediata de 2.500 unidades, aproximadamente, lo que ocasiona que las compras de material se realicen a un costo elevado en relación a si lo hicieran conforme a las variaciones presentadas en la simulación.

Al determinar el número aproximado de unidades faltantes, al inicio del ciclo de producción, se abre la posibilidad de implementar estrategias adecuadas para lograr ahorros monetarios y de tiempo, así como mejorar las estrategias de negociación con sus proveedores.

Figura 6
Simulación: inventario de materiales y ajuste por inventario de material



Fuente y elaboración propia.

Conclusiones

El presente trabajo permite proveer de una herramienta importante, útil y aplicable a la empresa objeto de estudio, fundamentalmente por la visión a futuro que se le podría presentar conforme a las estrategias administrativas que adoptaría para optimizar los gastos operacionales de la gestión correcta de cada uno de sus recursos.

El modelo diseñado promueve el desarrollo en la gestión administrativa de los inventarios de la empresa, considerando aspectos importantes y referenciales como la tasa de entrega de materiales, el inventario existente, la posibilidad de realizar ajustes en tiempos de entrega y coberturas de inventario del material o insumos con los cuales la organización trabaja. Además, el trabajo ejecutado evidencia la aplicabilidad de la dinámica de sistemas en cualquier campo, permitiendo encontrar variables que intervienen específicamente en este tipo de negocio, logrando así la conjugación práctica entre la administración empresarial y lo cuantitativo de los insumos que intervienen en la gestión de inventarios.

La investigación realizada, a través del diseño y desarrollo del modelo de gestión, permite la planeación organizacional mediante el análisis de las diversas variables que intervienen en el entorno organizacional, lo que posibilita la planificación de la disponibilidad de recursos. La metodología de la dinámica de sistemas permite una visión holística de las situaciones empresariales, y ayuda en la toma de decisiones para alcanzar un balance entre las variables del modelo diseñado.

Por último, el modelo establecido permitirá generar estudios posteriores en función de la gestión de los inventarios de la empresa, por cuanto es posible analizar el comportamiento dinámico de este sistema, incorporando variables que fortalezcan las operaciones empresariales.

Referencias

- Agudelo, Daniel, y Yohana López. 2018. "Dinámica de sistemas en la gestión de inventarios". *Revista Ingenierías USBMed* 9 (1): 75-85. Doi: 10.21500/20275846.3305.
- Andrés, Beatriz, Raquel Sanchis y Raúl Poler. 2016. "Modelado y simulación de la cadena de suministro de AnyLogic". *Modelling in Science Education and Learning* 9 (1): 57-72. Doi: 10.4995/msel.2016.3520.
- Angerhofer, Bernhard, y Marios Angelides. 2000. "System Dynamics Modelling in Supply Chain Management: Research Review". *Winter Simulation Conference*. Consulta: abril de 2019. <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=510434>>.
- Aracil, Javier. 2007. *Dinámica de sistemas*. Madrid: Edison.
- Asencio, Luis, Edwin González y Mariana Lozano. 2017. "El inventario como determinante en la rentabilidad de las distribuidoras farmacéuticas". *Retos* 7 (13): 122-142. Doi: 10.17163/ret.n13.2017.08.
- Ballou, Ronald. 2004. *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Ciudad de México: Pearson Educations.
- Bianchi, Carmine. 2016. *Dynamic Performance Management*. Bern: Springer International Publishing.
- Causado Rodríguez, Edwin. 2015. "Modelo de inventarios para control económico de pedidos en empresa comercializadora de alimentos". *Revista Ingenierías* 14 (27): 163-177. Doi: 10.22395/rium.v14n27a10.
- Chu, Edward. 2011. "Inventory Turnover of Fortune 500 Manufacturing Companies After 2001 and its Relationship to Net Earning". *Journal of Business & Economics Research* 6 (6): 2-12. Doi: 10.19030/jber.v6i6.2426.

- García, Juan. 2014. *Ejercicios avanzados en dinámica de sistemas*. Barcelona: Jmg.
- Godoy, Luis, y Carlos Bartó. 2002. “Validación y valoración de modelos en la dinámica de sistemas”. *Enseñanza de la Ingeniería* 3 (5): 31-47. <<https://bit.ly/2qk4gRR>>.
- Izquierdo, Luis, José Galán, José Santos y Ricardo Del Olmo. 2008. “Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas”. *Empiria* (16): 1-28. Doi: 10.5944/empiria.16.2008.1391.
- Liévano, Federico. 2015. “Dinámicas de inventarios en el sector productivo”. Consulta: septiembre de 2018. <<http://fundacioniai.org/actas/Actas1/Actas%201.29.pdf>>.
- , y Juan Villada. 2013. “Un modelo de dinámica de sistemas para la administración de inventarios”. *Revista Soluciones de Postgrado EIA* 6 (11): 121-135. Doi: 10.14508/rsdp.2013.6.11.121-135.
- Rodríguez, Manuel, Flor Salazar y Jorge González. 2018. “Control de inventarios con ajuste dinámico del punto de reorden. Un caso de estudio para empresas con productos perecibles y no perecibles, usando técnicas computacionales”. *Advance Research Journal of Multi-Disciplinary Discoveries* 23 (3): 13-20. <<https://bit.ly/2VMUZxf>>.
- Román, Olga, Gonzalo Arbeláez y César Patiño. 2012. “Gerencia integral desde la perspectiva de un modelo de planeación estratégica”. *Gestión & Desarrollo* 9 (1): 51-78. Doi: 10.21500/01235834.633.
- Samaniego, Hernán, y Alina Pascual. 2017. “Un modelo de gestión empresarial basado en dinámica de sistemas para la pequeña y mediana empresa”. *Dyna Management* 5 (1): 1-10. Doi: 10.6036/MN8358.
- Sterman, John. 2010. *Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Televisa News. 2017. “Inventario de empresas en EU logran en junio su aumento más grande”. Consulta: septiembre de 2018. <<https://bit.ly/2BfM1PB>>.
- Zapata, Julián. 2014. *Fundamentos de la gestión de inventarios*. Medellín: Esumer.