

Marco de Referencia para el Desarrollo de un Sistema de Apoyo para la Toma de Decisiones para la Gestión de Inventarios*

A Framework for the Development of a Decision Support System for Inventory Management

Artículo de Investigación Científica - Fecha de Recepción: 30 de septiembre de 2013 - Fecha de Aceptación: 19 de mayo de 2014

Carlos Alberto Castro Zuluaga

Magíster en Ingeniería Industrial. Universidad EAFIT. Medellín (Colombia). ccastro@eafit.edu.co

Diana Cecilia Uribe Cadavid

Magíster en Ingeniería con énfasis en Dirección de Operaciones y Logística. Universidad EAFIT. Medellín (Colombia). dianauribe66@hotmail.com

Jaime Andrés Castro Urrego

Estudiante de Maestría en Ingeniería con énfasis en Dirección de Operaciones y Logística. Universidad EAFIT. Medellín (Colombia). jcastrou@eafit.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

C. A. Castro Zuluaga, D. C. Uribe Cadavid, and J. A. Castro Urrego, "Marco de Referencia para el Desarrollo de un Sistema de Apoyo para la Toma de Decisiones para La Gestión De Inventarios," *INGE CUC*, vol. 10, no. 1, pp. 30–42, 2014.

Resumen: El principal objetivo de este artículo es presentar un marco de referencia para desarrollar un sistema de soporte a la toma de decisiones para la gestión de inventarios que permita definir técnicamente los parámetros de una política de control de inventario específica. El modelo propuesto puede ser utilizado de forma genérica en casi cualquier tipo de industria, el cual incluye las entradas fundamentales, una descripción de los procesos internos requeridos y las salidas esperadas. En la investigación se utilizaron métodos inductivos-deductivos para definir el marco de referencia propuesto, el cual se fundamenta en dos indicadores clave en la gestión de inventario: niveles de servicio y costos. Finalmente, mediante una simulación es posible concluir que utilizando los parámetros teóricos para el modelo de inventario punto de reorden-cantidad fija, que son encontrados por el marco de referencia propuesto, se obtienen aproximadamente los valores esperados tanto de los niveles de servicio como de los costos.

Palabras clave: Marco de Referencia, Gestión de Inventarios, Soporte a la Toma de Decisiones (DSS), Control de Inventarios.

Abstract: The main objective of this paper is to present a framework to develop a decision-making support system for inventory management that allows defining the parameters of a specific inventory control policy technically. The proposed model can be used in a generic way in almost any industry. It includes the fundamental inputs, a description of the internal processes required and the expected outputs. In the research inductive-deductive methods were used to define the proposed framework, which is based in two key indexes in inventory management: service level and cost. Finally, through a simulation it is possible to conclude that using the theoretical parameters of reorder point – fixed quantity inventory model found by the proposed framework, expected values for both service level and cost are achieved approximately.

Keywords: Framework, Inventory Management, Decision Support System -DSS, Inventory Control.

* Artículo de Investigación derivado del proyecto de investigación "Desarrollo de un prototipo de un sistema de información para la gestión y el control de inventarios" de la Universidad EAFIT. Fecha de inicio: enero de 2013- Fecha de finalización: diciembre de 2014.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de control y gestión de inventarios busca dar respuesta a tres preguntas fundamentales: la frecuencia con la que se debe revisar el estado del inventario, cuándo se debe colocar una orden y cuánto se debe pedir [1]-[4].

Para contestar la primera pregunta, las organizaciones requieren sistemas de información que les permitan conocer con exactitud el estado de los inventarios en cualquier momento, información vital para planear las compras, la manufactura o la distribución [5], [6].

Las otras dos preguntas, es decir, cuándo colocar una orden y de qué magnitud debe realizarse el pedido, requieren de la definición de políticas de control de inventarios, en las cuales es necesario determinar parámetros como puntos de reorden, tamaños de la orden, niveles de inventario mínimos y máximos, inventarios de seguridad y niveles de servicio, dependiendo de la política de control definida [7]-[9].

Los sistemas integrados de información empresariales cuentan con algunos modelos de gestión de inventarios, que requieren la digitación de los parámetros anteriormente mencionados, los cuales se definen la gran mayoría de las veces empíricamente. Adicionalmente, estos sistemas no cuentan con herramientas que apoyen el proceso de toma de decisiones que ayuden a los administradores del inventario a identificar si los parámetros definidos son correctos y qué mejoras podrían realizarse [10], [11].

Este artículo muestra un marco de referencia sobre el cual se pueda desarrollar un sistema de soporte a la toma de decisiones (DSS por sus siglas en inglés) para la gestión de inventarios, que ayude a los encargados de esta área a diseñar sistemas y modelos de gestión de inventarios robustos, que permitan alcanzar las metas tanto de niveles de servicio como de costos, indicadores fundamentales de competitividad en cualquier sector industrial. Este artículo ha sido estructurado en cinco secciones. Esta introducción es seguida por la sección 2, en la que se ilustra la problemática actual de la gestión de inventarios. Luego, en la sección 3 se presenta el estado del arte de los DSS existentes para realizar dicha gestión, el cual es el resultado de la revisión de la literatura y se hace referencia a los modelos de control de inventarios más utilizados. En la sección 4 se explica el marco de referencia propuesto sobre el cual se debe construir un DSS. Finalmente, el artículo finaliza con conclusiones en la sección 5.

II. PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS

Los sistemas para la gestión y control de inventarios que se encuentran en el mercado (al menos en Colombia) raramente contienen herramientas que apoyen y soporten el proceso de toma de decisiones que

permitan definir las políticas de control y sus parámetros, así como evaluar los posibles escenarios que simulen las diferentes posibles decisiones por tomar [10]. Los administradores de los inventarios deben convivir con esta realidad y se ven obligados a tomar decisiones sobre la cantidad de producto que se debe pedir, el nivel de inventario que se debe mantener y la capacidad de almacenamiento requerida, con base en supuestos y experiencias pasadas. Esto conlleva a tener exceso de inventario de algunas referencias y una gran cantidad de agotados en otras, lo cual afecta el nivel de servicio de la compañía, el capital de trabajo y el almacenamiento disponible, por mencionar solo algunos de los posibles efectos negativos.

Para intentar superar estas limitaciones, los administradores de los inventarios utilizan hojas de cálculo para apoyar el proceso de toma de decisiones [12], pero debido al poco conocimiento sobre los modelos de gestión de inventarios existentes, las decisiones se toman utilizando modelos equivocados, mal parametrizados o con información irreal [13]. Los sistemas de control de inventario, entonces, no funcionan de forma correcta, ya que los parámetros se deben calcular de una manera técnica mediante la realización de análisis detallados de la información y la utilización de la simulación, para así lograr los objetivos y metas trazadas en una empresa u organización.

En Colombia, varios estudios sobre costos logísticos y *benchmarking* realizados [10], [14], [15] muestran que los costos de los inventarios en las empresas colombianas pueden representar cerca del 20 % de las ventas de una compañía. Estos estudios también han identificado que cerca de un 65 % de las empresas no cuenta con sistemas de soporte a la toma de decisiones para la gestión de los inventarios, principalmente por tres grandes razones: (1) por los altos costos que este tipo de herramientas tienen, ya sean de carácter comercial o hechos a la medida, (2) por la falta del conocimiento en lo relacionado con la información de entrada requerida, las variables involucradas en el proceso y los elementos necesarios para un adecuado desarrollo y (3) por la falta de personal adecuadamente capacitado en la gestión y control de inventario, ya que de acuerdo con los estudios realizados, esta labor es encargada a personal administrativo de bajo rango, con capacitación casi nula en este tema.

La posibilidad de mejorar la competitividad de una empresa a través de una adecuada gestión de sus inventarios es una alternativa que muchas empresas y consultores han venido explorando desde hace años [1], [16], [17]; pero para ello se requiere de un adecuado marco de referencia, que permita determinar todas aquellas variables que directa o indirectamente intervienen en el proceso y que son fundamentales para definir técnicamente los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de los modelos dentro de la organización, a fin de lograr las metas trazadas.

III. ESTADO DEL ARTE DE LOS DSS PARA LA GESTIÓN DE INVENTARIOS

La administración de inventarios tanto en empresas manufactureras como de servicios a grandes rasgos comprende dos actividades fundamentales: el control de inventarios, el cual busca conocer con exactitud el estado de los inventarios, y la gestión de inventarios encaminada a determinar políticas que permitan gestionar adecuadamente el inventario en términos de qué mantener, cuánto mantener y cuánto ordenar de los diferentes ítems y/o materiales que una organización utiliza, fabrica o comercializa, de manera que se cumplan en alto grado los objetivos trazados por la misma, generalmente en términos de niveles de servicio y costos [1], [17].

Las actividades de control normalmente se realizan con el apoyo de sistemas comerciales de información integrados (ERP: *Enterprise Resource Planning*) como SAP, Oracle, QAD o Dynamics, entre otros, los cuales incluyen módulos transaccionales para el control de inventarios. Sobre los sistemas ERP se han escrito importantes cantidades de artículos, los cuales abarcan revisiones de literatura generales [18]-[21] o específicas para PyMEs [22], [23] hasta la evaluación de su éxito en diferentes industrias [24], [25]. También existen investigaciones relacionadas con modelos desarrollados para mejorar el proceso de administración de inventarios de repuestos, como el trabajo presentado por Razi y Tarn [26]. En todas estas investigaciones se realiza la importancia de los sistemas transaccionales en el control de inventarios y las ventajas que se logran obtener mediante su correcto uso e implementación; pero igualmente se evidencia la falta de herramientas que permitan obtener los parámetros necesarios y adecuados para su funcionamiento, información fundamental para lograr en alto grado los beneficios reportados, en particular en lo relacionado con los indicadores de inventario.

Con respecto a las herramientas y software que se utilizan en Colombia para la gestión y el control de inventarios, pueden encontrarse en Gutiérrez [10], donde se concluye que la mayoría de estos son únicamente herramientas computacionales que permiten registrar las transacciones, es decir, entradas y salidas al almacén, pero que no cuentan con sistemas para el soporte a la toma de decisiones (DSS), en lo relacionado con la definición de los parámetros de las políticas de control y de la forma como estos valores afectan el desempeño de la empresa en función de niveles de servicio y costos, estrategias que en muchos casos determinan la competitividad de una empresa o sector.

La gestión de inventarios se enfoca principalmente en definir políticas, modelos y parámetros para la administración de los ítems o materiales que se mantienen en inventario, lo cual requiere de un análisis previo de la información con el objetivo de

poder tomar decisiones sobre los valores más adecuados que deben tomar estos. Para ello, además de la información histórica que se tenga (contenida en el sistema transaccional), es necesario contar con herramientas que soporten y apoyen el proceso de toma de decisiones (DSS), de manera que se logren obtener los modelos y parámetros para el manejo adecuado de los inventarios.

A. Modelos de Gestión de Inventarios más Comunes en la Literatura

De acuerdo con Silver [1], [16], los sistemas tradicionales de reabastecimiento utilizados para gestionar el inventario de ítems individuales pueden clasificarse en tres tipos:

1. Sistemas de gestión de inventarios para artículos cuya demanda es aproximadamente nivelada.
2. Sistemas de gestión de inventarios para artículos cuya demanda es variable o intermitente en el tiempo.
3. Sistemas de gestión de inventarios para artículos cuya demanda es probabilística.

El marco de referencia propuesto para el desarrollo del DSS se centra en aquellos modelos utilizados para manejar inventarios cuando la demanda es probabilística, ya que esta situación es la que se vive en la realidad. Estos modelos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Modelos de revisión continua
- Modelos de revisión periódica

Los modelos de revisión continua se dividen en sistemas *Punto de reorden - Cantidad fija* (s, Q) y *Punto de reorden - Cantidad máxima* (s, S). Por su parte, los modelos de revisión periódica se dividen en sistemas *Período de revisión fijo - Cantidad máxima* (R, S) y *Período de revisión fijo, punto de reorden - Cantidad máxima* (R, s, S).

Dado que los estudios anteriormente mencionados concluyen que las políticas de control (s, Q), (s, S) y (R, S) son las más utilizadas a nivel industrial, en gran parte debido a que estas son la que la mayoría de los ERP incluyen, el marco de referencia aquí propuesto se centra en obtener los parámetros de control de estas. La notación que se emplea en este artículo puede ser consultada en Silver [1].

B. Sistemas de Apoyo para la Toma de Decisiones (Decision Support Systems - DSS) para la Gestión de Inventarios

Algunas definiciones encontradas en la literatura sobre qué es un sistema de apoyo para la toma de decisiones son:

- Un sistema de apoyo para la toma de decisiones (DSS) es un área de la ingeniería de sistemas enfocada en soportar y mejorar la toma de decisiones gerenciales. En la práctica profesional, los

- DSS incluyen DSS personales (PDSS), sistemas de información ejecutiva, almacenamiento de datos e inteligencia de negocios, entre otros [27].
- Un sistema de apoyo para la toma de decisiones (DSS) es un tipo de sistema de información diseñado para apoyar la actividad gerencial semiestructurada o sin estructura, ideado para servir de puente entre los sistemas empresariales y los tomadores de decisiones [28].
 - Un sistema de apoyo para la toma de decisiones (DSS) modela información para apoyar a los gerentes durante los procesos de toma de decisiones. Un DSS puede utilizar información interna disponible en las bases de datos corporativas o información externa de fuentes como la competencia o el gobierno [29], [30].

En conclusión, los DSS son sistemas que utilizan la información disponible y realizándole algún proceso de optimización, modelamiento y/o cálculo matemático, ayudan a los gerentes de los procesos a tomar decisiones más estructuradas.

Es por esto que los sistemas para el soporte a la toma de decisiones han sido estudiados por varios autores, la mayoría desde un punto de vista teórico, con evidencias de implementaciones puntuales o en evaluaciones piloto:

Arnott [31], por ejemplo, analiza la naturaleza y estado de la investigación de los sistemas para el soporte a la toma de decisiones (DSS). Encuentra que las publicaciones sobre DSS han venido disminuyendo continuamente desde su pico más alto en 1994 y que la tasa de publicación de 2005 estaba cercana a los niveles obtenidos en 1990. Otros hallazgos incluyen que lo menos publicado son las investigaciones sobre DSS para almacenamiento de datos y que alrededor de dos tercios de la investigación sobre DSS es empírica, siendo la categoría de investigación más importante la del diseño desde el punto de vista de la ingeniería de sistemas.

Achabal [32] describe los componentes de un DSS para el modelo Inventario Administrado por el Vendedor (VMI por sus siglas en inglés) partiendo del pronóstico de la demanda y la gestión del inventario. Adicionalmente muestra su implementación en una gran empresa manufacturera de ropa y más de 30 de sus detallistas. El DSS implementado ayudó al proveedor y a sus detallistas a lograr unas metas conjuntas de nivel de servicio y rotación de inventario.

Behesthi [29] demuestra la utilidad de un modelo de soporte de decisiones para analizar el desarrollo de un ambiente colaborativo entre los miembros de una cadena de suministro con el fin de reducir los costos del inventario, así como los costos de la mercancía vendida.

Adicionalmente hay algunas investigaciones que documentan DSS desarrollados a la medida para la gestión del inventario resultado de un extenso y costoso trabajo de consultoría [33]. En este traba-

jo de investigación se desarrolla un DSS integrado para tomar decisiones de control de inventario en la industria del cemento, el cual parte del hecho de que la mayoría del software desarrollado para apoyar el control de inventarios para la industria moderna están basados en el tradicional modelo Cantidad Económica de Pedido (EOQ por sus siglas en inglés), el cual requiere de parámetros que son estimados empíricamente o mediante la utilización de algún proceso estadístico teniendo en cuenta las transacciones de los materiales durante un período de tiempo determinado. El sistema propuesto es capaz de manejar un gran volumen de datos en tiempo real, estimar el valor de los parámetros de control de inventario en tiempo real teniendo en cuenta todos los factores significativos, soportar decisiones a nivel táctico y estratégico sobre el control de inventarios y cooperar con el sistema de información utilizado para la administración logística.

Por otra parte, se ha encontrado evidencia de que las empresas con frecuencia adquieren software para gestionar sus cadenas de suministro con el fin de alinear y estandarizar sus operaciones; teniendo como principal reto determinar cuáles son los mejores datos entregados por el software para utilizar en el proceso de toma de decisiones. Una alternativa consiste en importar los datos a un DSS diseñado especialmente para ayudar a tomar ciertas decisiones. Esta propuesta se puede encontrar en [28], en la cual el DSS desarrollado para la gestión de inventarios determina efectivamente el nivel de inventario de seguridad y el número de semanas de cobertura hacia adelante (WFC por sus siglas en inglés) para cada SKU (*Stock Keeping Unit*). En el *paper* se discute las experiencias de la empresa relacionándolas con las que aparecen en la literatura sobre diseño, implementación y uso de los DSS. La investigación muestra que gracias a la implementación del DSS, la empresa ha logrado una ventaja competitiva, aunque no se profundiza en el marco conceptual sobre el cual se fundamenta su desarrollo.

También existen algunos DSS encaminados a soportar procesos de toma de decisiones para la gestión de inventarios un poco más complejos, como son aquellos que incluyen productos con demandas altamente volátiles, como son los artículos de moda o la tecnología. En estos DSS el proceso de toma de decisiones se fundamenta en el análisis de riesgo, con una aplicabilidad netamente teórica [34].

Desde el punto de vista de herramientas que soporten el proceso de toma de decisiones se encuentran el WinQSB, el QM for Windows y aplicaciones desarrolladas en EXCEL que permiten realizar los cálculos básicos del control de inventarios, como son los tamaños de lote y niveles de servicio, que han sido desarrollados más desde un punto de vista académico. En estas herramientas la totalidad de los

datos de entrada es información conocida, limitándose a realizar los cálculos de una fórmula matemática, siendo nada o muy poco flexibles, lo cual es un requerimiento indispensable a nivel industrial [35].

El marco de referencia propuesto en este artículo abarca aspectos claves en el control de inventarios como son la clasificación de los diferentes SKU's en categorías bajo la utilización de más de un criterio utilizando para ello la clasificación ABC Multicriterio (MCABC por sus siglas en inglés); la generación de modelos de pronósticos para obtener los datos de demanda proyectada y errores del pronóstico, información vital para el cálculo de puntos de reorden; la obtención de cantidades por pedir o por producir, partiendo de la información necesaria para calcular los parámetros necesarios en el modelo (costos de ordenar, costos de mantener, capacidad de producción, etc.), así como la consideración de descuentos por cantidad; la obtención de los valores de *stock* de seguridad partiendo de niveles de servicio deseados o de minimización de costos. Toda esta información permite obtener de forma técnica los parámetros de sistemas de gestión tipo (s, Q) , (s, S) o (R, S) , los cuales pueden ser simulados para lograr determinar el logro o no de los objetivos propuestos, así como sus implicaciones en términos de costos, faltantes y niveles de servicio. Se espera entonces que este marco de referencia genérico sea la base para el desarrollo de sistemas de apoyo a la toma de decisiones en cualquier tipo de industria.

IV. DESCRIPCIÓN DEL MARCO DE REFERENCIA PARA DESARROLLAR UN DSS PARA LA GESTIÓN DE INVENTARIOS

Los DSS son herramientas que permiten mejorar el proceso de toma de decisiones transformando unos datos de entrada en salidas requeridas para tomar alguna decisión. En la Fig. 1 se muestra el marco de referencia propuesto para el desarrollo de un sistema de soporte a la toma de decisiones para la gestión de inventarios. A continuación se explican cada uno de los bloques mostrados en la figura, haciendo énfasis en las entradas y las salidas requeridas y en los modelos matemáticos que se aplicarán para el funcionamiento del DSS.

A. Clasificación ABC

1) Entradas

Criterios de clasificación ABC y pesos de los criterios: la clasificación ABC tradicional solo requiere la definición de un criterio de clasificación, el cual normalmente son las ventas anuales valorizadas al costo (o los consumos anuales valorizados al costo) y los porcentajes de clasificación para los ítems que serán A, los que serán B y los que serán C, los cuales se definen por lo general por la ley de Pareto (el 20 % de los ítems representan el 80 % de las ventas) [36].

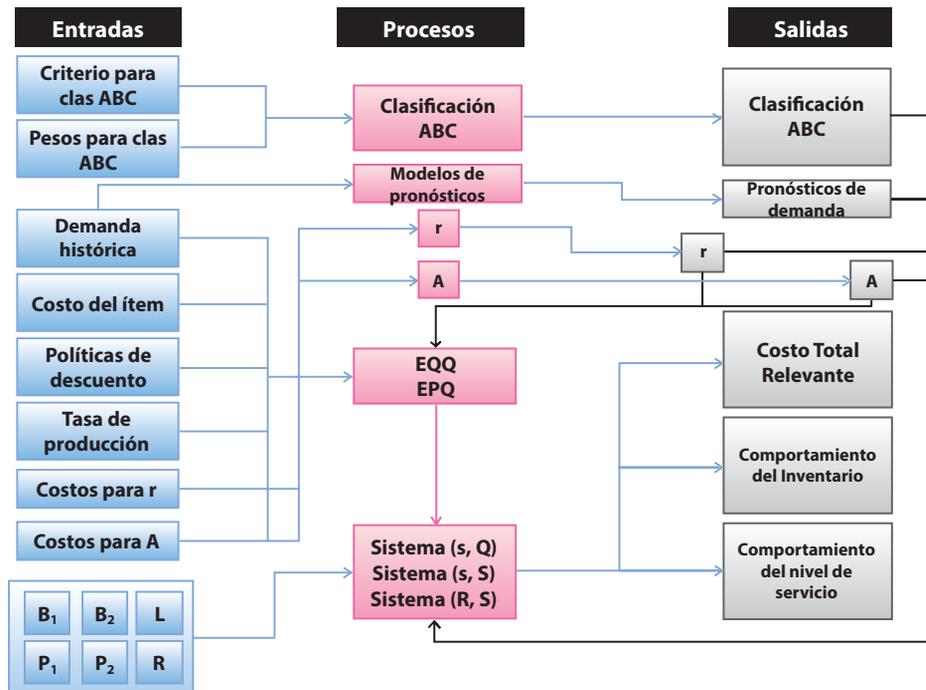


Fig. 1. Perfil del modelo para el DSS propuesto
Fuente: Autores.

Si se quiere utilizar la clasificación multicriterio, deben definirse otros criterios para la clasificación y la importancia o peso de cada uno en la clasificación final, este criterio se denomina clasificación ABC Multicriterio, y pueden incluirse otros criterios, como: volumen por unidad, *lead time*, costos anuales de inventario, entre otros [37]-[41].

2) *Proceso*

Asignación de puntuación: la puntuación que obtiene cada ítem se logra sumando el peso asignado a cada criterio multiplicado por su correspondiente valor. Con base en esta puntuación y los porcentajes de clasificación definidos en las entradas se clasifica el artículo como A, B o C [40], [42], [43]. En caso de ser un solo criterio, el valor que obtiene el artículo es simplemente el valor que tenga el mismo en ese criterio con respecto a la suma total de los valores que tengan todos los ítems en ese criterio, dado el porcentaje de participación que tiene cada ítem.

3) *Salidas*

Clasificación ABC: esta clasificación permite a los administradores del inventario asignar prioridades de tiempo y recursos, además de definir los modelos de control de inventarios que se debe utilizar de acuerdo con esta clasificación. Un DSS debe incluir un módulo que permita clasificar las diferentes SKU's de una compañía en categorías según su importancia, con el propósito de facilitar la gestión de inventarios mediante un número reducido de grupos.

B. *Pronósticos*

1) *Entradas*

Demanda histórica: por lo menos 12 meses de demanda histórica se necesitan para generar los pronósticos de demanda. Si existe la probabilidad de que la demanda tenga un comportamiento estacional, se requieren 36 meses de demanda histórica para modelar adecuadamente la demanda.

2) *Procesos*

Los pronósticos del DSS se basarán en análisis de series temporales. Estos modelos necesitan la definición de algunos parámetros y se escogen de acuerdo con sus resultados en algunas medidas de desempeño. Los modelos que se proponen para utilizar en el DSS se muestran en la tabla I, en los que se incluyen modelos para los distintos patrones

de comportamiento regular (estabilidad, tendencia y/o estacionalidad) que deben tener las series para poder utilizar modelos de pronósticos con series de tiempo.

TABLA I. MODELOS DE PRONÓSTICOS PROPUESTOS A EVALUAR EN UN DSS PARA GESTIÓN DE INVENTARIOS [44]

Modelo	Modelo Matemático
Media	$F_t = \frac{\sum_{i=1}^t D_i}{t}$
Promedio Móvil Simple	$F_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-n}}{n}$
Suavización Exponencial	$F_t = D_{t-1} * \alpha + (1 - \alpha) * (F_{t-1})$
Suavización Exponencial con Ajuste de Tendencia	$F_t = S_t + T_t$ $S_t = \alpha D_{t-1} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)(T_{t-1})$
Suavización Exponencial Doble	$S'_t = \alpha D_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$ $S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$ $a_t = S'_t + (S'_t - S''_t) = 2S'_t - S''_t$ $b = \frac{\alpha(S'_t - S''_t)}{1 - \alpha}$ $F_t = a_{t-1} - b_{t-1}$
Regresión Lineal	$Y = a + bX$
Descomposición Multiplicativa	$R_t = \frac{D_t}{\frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} \dots D_{t-n}}{n}}$ $IE_t = \frac{R_t + R_{t+Est} + \dots + R_{t+n}}{n_{Est}}$ $S_t = \frac{D_t}{IE_t}$ $FSA_t = Est + (a * D_t)$ $F_t = IE_t * FSA_t$
Winters	$S_t = \alpha \frac{D_t}{I_{t-Est}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$ $I_t = \gamma \frac{D_t}{S_t} + (1 - \gamma)I_{t-Est}$ $F_t = (S_{t-1} + T_{t-1}) * I_{t-Est}$

La notación usada en la tabla I se muestra en la tabla II.

TABLA II. NOTACIÓN GENERAL DE LOS MODELOS DE PRONÓSTICOS

Símbolo	Definición
F_t :	Pronóstico del Periodo
t :	Periodo Actual
S_t :	Valor suavizado de las series no suavizadas en el periodo
T_t :	Valor suavizado de la tendencia en el periodo
I_t :	Valor suavizado del índice estacional en el periodo
F_{t-n} :	Pronóstico en el periodo $t-n$
D_t :	Demanda real en el periodo t
α :	Constante de suavización de la estabilidad
β :	Constante de suavización de la tendencia
γ :	Constante de suavización de la estacionalidad
N :	Número de periodos históricos a promediar
Y :	Valor de la variable dependiente
a :	Intercepto con el eje X
b :	Pendiente
X :	Valor de la variable independiente (unidades de tiempo)
IE_t :	Índice estacional para el modelo de descomposición en el periodo t
FSA_t :	Pronóstico sin ajuste de tendencia
Est :	Estación
R_t :	Razón por periodo
n_{Est} :	Número de estaciones en n periodos

TABLA III. MEDIDAS DE EXACTITUD DE LOS MODELOS DE PRONÓSTICOS

Medida	Formulación Matemática
Error de Pronóstico	$e_t = D_t - F_t$
Error Medio (ME)	$ME = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$
Error Absoluto Medio (MAD)	$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n D_t - F_t }{n}$
Señal de Rastreo (TS)	$TS = \frac{RSFE}{MAD}$
Rango de la Señal de Rastreo (TSR)	$TSR = Max.TS_t - Min.TS_t$
Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE)	$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left \frac{D_t - F_t}{A_t} \right }{n}$
Error Acumulado de los errores (RSFE)	$RSFE = \sum e_t$
Error Cuadrado Medio	$MSE = \frac{\sum_{t=1}^N (F_t - D_t)^2}{N}$
Desviación Estándar de los errores del Pronóstico (σ_e)	$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N e_t^2}{N - 1}}$

Por otra parte, los modelos deben ser evaluados mediante el uso de medidas de desempeño para garantizar que tanto los parámetros seleccionados de cada modelo como el comportamiento en sí estén operando correctamente, logrando las exactitudes esperadas en términos de asertividad. Las medidas que se proponen evaluar se muestran en la tabla III.

Detalles de los modelos, las medidas de desempeño y las explicaciones tanto conceptuales como del manejo operativo pueden encontrarse en [44], [46]. En relación con software y en la aplicación de modelos de pronósticos para la planeación de inventarios existen extensas revisiones de literatura sobre estos tópicos en [47], [49].

3) Salidas

Pronóstico de la demanda: una práctica común es parametrizar los modelos de control de inventarios con datos de demanda promedio y desviación estándar de la demanda en vez de con el pronóstico de demanda y la desviación estándar de los errores del pronóstico. Esta práctica puede llevar a que las empresas tengan excesos o escasez de inventario. Un DSS debe incluir diferentes modelos de pronósticos que permitan obtener datos más acertados de la demanda, así como medidas de desempeño que facilita al encargado de la gestión de demanda tener elementos de juicio para seleccionar parámetros y modelos que contribuyan a mejorar el proceso de toma decisiones en esta etapa crucial de la gestión de inventarios, ya que los modelos de gestión requieren como información crucial, la demanda proyectada y la desviación de los errores durante el tiempo de suministro (durante el tiempo de suministro y el periodo de revisión para el modelo $R;S$), valores críticos para un adecuado funcionamiento y desempeño de los modelos de gestión de inventarios en términos de costos y niveles de servicio principalmente.

C. Costo de Mantener el Inventario (r)

1) Entradas

Para su cálculo se requiere del valor de inventario; la depreciación de los edificios utilizados en el almacenamiento, así como de estanterías y equipos; hipotecas de los edificios utilizados en el almacenamiento; costos de operación anuales de la bodega o centro de distribución: impuestos, seguros, servicios públicos, mano de obra, obsolescencia, deterioro, hurtos, y costos de oportunidad.

2) Procesos

El costo de mantener se obtiene realizando la relación que se muestra en (1):

$$r = \frac{\text{costos anuales}}{\text{inventario anual valorizado al costo}} \quad (1)$$

3) Salidas

Costos de mantener el inventario (r) en \$/\$-año

D. Costo de Ordenar (A)

1) Entradas

Para un comercializador este incluye entre los costos más importantes el de los formatos para ordenar, las llamadas telefónicas, autorizaciones, recepción e inspección de pedidos, seguimiento a novedades, manejo de facturación de los proveedores y toda la carga de salarios del departamento encargado de realizar el proceso de compra de los artículos o insumos según sea el caso.

Para el caso de realizar una orden de producción, de alistamiento o de setup, este costo debe calcularse utilizando, además de la mayoría de los mencionados en el caso de una comercializadora, los costos en que se incurre para hacer un cambio de referencia, como son los salarios de los mecánicos y personal especializado involucrado en el cambio, costo de montacargas y puente grúas, costos por la disminución de la productividad, costos por desperdicios o mala calidad y cualquier otro costo que pueda ser cuantificado por el paro de los equipos.

2) Procesos

Para el caso de una comercializadora o para insumos comprados, el costo se obtiene mediante la expresión (2):

$$A = \frac{\text{costos ordenar en el período}}{\# \text{ de órdenes generadas en el período}} \quad (2)$$

Para el caso de la preparación, se suman los costos asociados al cambio, los cuales deben ser considerados para el tiempo que tarda realizar dicha actividad, esto es, debe incluir todos los costos desde que la máquina o equipo se detiene hasta que esta nuevamente comienza a obtener productos de primera calidad.

3) Salidas

Costos de ordenar (A) en \$/orden

E. Cantidad de Reabastecimiento (EOQ o EPQ)

1) Entradas

Esta cantidad puede ser determinada de varias maneras, dependiendo del punto en que se encuentre en la

cadena de suministro y de las entradas que se tengan disponibles:

a. *Cantidad Económica de Pedido* (EOQ, por sus siglas en inglés) utilizada generalmente para compra de productos finales en el caso de una comercializadora, o de materiales e insumos para un fabricante donde el proveedor tiene una política MTS (fabricación para inventario). Entre las alternativas que existen para obtener el valor se tienen:

- Cantidad de compra definida por el proveedor de acuerdo con lotes mínimos, unidades de empaque, políticas del comprador, etc.
- Se calcula utilizando la fórmula estándar del EOQ presentada en (3), para la cual es necesario tener: Demanda anual (D), el costo de mantener anual, el costo de ordenar A y el costo del ítem (v).
- Se calcula utilizando la fórmula del EOQ con descuentos, para lo cual es necesario tener, adicional a la fórmula estándar, los descuentos (d) y los rangos en los cuales se obtiene cada uno de ellos. Ver ecuación (4). Si aplica alguna otra estructura de descuentos [50], es necesario cambiar la formulación para encontrar el tamaño óptimo de lote.

b. *Cantidad Económica de Producción* (EPQ, por sus siglas en inglés) utilizada en ambientes de producción o cuando la compra o el abastecimiento se realiza bajo pedido (MTO):

- Cantidad de producción definida por la capacidad de los equipos, lotes mínimos, políticas de producción, etc.
- Se calcula utilizando la fórmula estándar del EPQ presentada en la ecuación (5), para la cual es necesario tener adicional a la demanda anual, el costo de ordenar, el costo de alistamiento o setup, el costo del ítem y tasa de producción (p) medida en unidades/año

2) Procesos

El proceso consiste en el cálculo de las cantidades que se va a ordenar, por alguno de los métodos mencionados anteriormente, o utilizando las fórmulas matemáticas (3-4) mostradas a continuación:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot D}{v \cdot r}} \quad (3)$$

$$EOQ \text{ con descuentos} = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot D}{v_0 \cdot (1-d) \cdot r}} \quad (4)$$

$$EPQ = EOQ * \sqrt{\frac{1}{1-(D/p)}} \quad (5)$$

3) Salidas

Del proceso se obtendrán entonces las cantidades económicas de producción para el caso de produc-

to terminado o de pedido para el caso de materias primas y productos comercializados. La cantidad que se va a reabastecer, además de ser uno de los parámetros de algunos de los modelos de control de inventarios, también es requerida para determinar el inventario máximo esperado. Por lo tanto, el cálculo correcto de esta cantidad es fundamental para el adecuado funcionamiento de la mayoría de las políticas de control de inventario.

F. Modelos de Control de Inventarios
(s,Q), (s,S) o (R,S)

Como se mencionó anteriormente, los modelos de control de inventarios se parametrizan según se defina cada cuánto debe ser revisado el inventario. Para el caso de la revisión continua, es indispensable definir primero el valor por ordenar utilizando alguno de los modelos mostrados en el numeral anterior. Para el caso de los modelos de revisión periódica, es necesario preestablecer el período de revisión (R). En ambos casos, la siguiente etapa consiste en definir el factor de seguridad del modelo (denominado k), el cual puede ser calculado para optimizar (minimizar) costos o para obtener un nivel de servicio determinado, entendiendo que estos dos objetivos son *tradeoffs*.

1) Entradas

a. Aproximación para definir el factor de seguridad: como se mencionó anteriormente, el valor del stock de seguridad tiene que estar alineado con la estrategia logística de la compañía. Para ello existen reglas que ayudan a decidir la magnitud que el factor de seguridad debe tomar, el cual dependerá en un altísimo porcentaje del objetivo que la compañía desee lograr. A continuación se muestran las 4 reglas que se propone se incluyan en un DSS para la gestión de inventarios, por ser estas las que a nivel empresarial tienen mayor sentido. Es importante señalar que estas reglas se definen para el modelo (s,Q) únicamente, pero que son igualmente aplicables al modelo (s,S) y al modelo (R,S) con unas pequeñas modificaciones, como se puede ver en [1], [16].

1. Factor de seguridad basado en minimización de los costos. En este caso se plantean dos reglas para su cálculo:

- Costo por evento agotado (B_1) en \$/evento. Para este caso existe un costo BI, el cual se aplica cada vez que exista un evento de unidades agotadas, independiente de la magnitud del agotado; esto durante el ciclo de abastecimiento. La regla de decisión que se debe utilizar se muestra en (6):

$$k = \sqrt{2 \ln \left(\frac{DB_1}{\sqrt{2\pi} Q v \sigma_L r} \right)} \quad (6)$$

Donde σ_L es la desviación estándar de los errores del pronóstico durante el tiempo de suministro L.

- Cargo porcentual por unidad agotada (B_2) en %/\$. En esta regla de decisión existe una penalidad B_2 por cada unidad que este agota; esto por ciclo de suministro. La regla de decisión se muestra en (7):

$$p_{u \geq}(k) = \frac{Qr}{DB_2} \quad (7)$$

Donde $p_{u \geq}(k)$ es la probabilidad de que una variable normal tome un valor mayor a k, siendo entonces la probabilidad de tener agotados. En este caso se debe hallar un valor de k que satisfaga (7). Este valor se puede encontrar fácilmente utilizando la siguiente función de Excel®:

$$\text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(1 - p_{u \geq}(k)) \quad (8)$$

2. Factor de seguridad basado en el nivel de servicio. Para este caso se proponen dos reglas de decisión:

- Probabilidad específica de no agotarse durante el ciclo de reabastecimiento (P1 o nivel de servicio en el ciclo). Este nivel de servicio está encaminado a medir el nivel de servicio a las órdenes y puede encontrarse en la literatura como OSL (*Order Service Level*). La regla de decisión consiste en encontrar un valor de k que satisfaga (9):

$$p_{u \geq}(k) = 1 - P1 \quad (9)$$

y este valor se puede encontrar fácilmente utilizando la siguiente función de Excel®:

$$\text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(P1) \quad (10)$$

- Fracción especificada de demanda satisfecha con el inventario a la mano (P2 - fill rate). Este nivel de servicio está encaminado a medir el nivel de servicio en unidades y se encuentra en la literatura como USL (*Unit Service Level*). La regla de decisión para el caso de ventas perdidas se muestra en (11):

$$G_u(k) = \frac{Q}{\sigma_l} (1 - P_2) \quad (11)$$

Donde $G_u(k)$ es una función especial de la distribución normal, la cual es utilizada para encontrar la cantidad de agotados esperados por ciclo de abastecimiento. El valor de k se halla utilizando una tabla que puede encontrarse en [1], de manera que se satisfaga la regla de (11).

- b. Punto de reorden (s): este parámetro definirá el momento en el que deba liberarse la orden de rea-

provisionamiento y su valor dependerá del factor de seguridad definido previamente, de la desviación estándar de los errores del pronóstico durante el tiempo de entrega y de la demanda proyectada en ese mismo lapso de tiempo. El punto de reorden está definido como

$$s = \hat{x}_L \times \text{stock de seguridad} \quad (12)$$

Donde es la demanda proyectada durante el periodo de abastecimiento, el cual se halla utilizando alguno de los modelos explicados anteriormente en el apartado de pronósticos. Finalmente el *stock* de seguridad en la ecuación (12) se halla mediante la siguiente expresión (13):

$$\text{Stock de seguridad} = k * \sigma_L \quad (13)$$

- c. *Lead Time (L)*: este es uno de los valores más importantes utilizado en los modelos de gestión de inventarios. La mayoría de las veces es definido de manera constante para todas las referencias, pero es importante evaluar si un *lead time* variable tendría un efecto más acertado para el control del inventario:
 - *Lead time constante*: definido por el proveedor (o la fábrica) como fijo para las diferentes familias de producto.
 - *Lead time variable*: para el cual se requieren por lo menos 10 datos históricos de lead time por artículo o por proveedor, dependiendo del nivel de agregación de la información.
- d. *Unidades de tiempo para poner una orden de reabastecimiento (R)*: como se mencionó anteriormente, para los modelos de revisión periódica es indispensable definir cada cuánto se realizará una revisión, lo cual se puede hacer de dos formas:
 - Periodo de reabastecimiento definido por el proveedor (o la fábrica) como fijo para las diferentes familias de producto.
 - Periodo de reabastecimiento calculado utilizando la relación para encontrar la frecuencia con la que deben realizarse pedidos de materias primas o de productos terminados.

2) Procesos

Sistemas de control de inventarios: estas herramientas contestan la pregunta de qué tan frecuentemente debe revisarse el inventario y cuándo debe ponerse una orden de reabastecimiento. Estos modelos suministran los datos para calcular el costo total relevante y simular el comportamiento del inventario y el nivel de servicio obtenido. El DSS incluirá los siguientes modelos para reevaluar su comportamiento:

- Punto de orden, Cantidad por ordenar o sistema (*s, Q*). (*Order Point, Order Quantity*)
- Punto de orden, Orden para subir el nivel o sistema (*s, S*). (*Order Point, Order up to level*)

- Revisión periódica, Orden para subir el nivel o sistema (*R, S*). (*Periodic Review, Order up to level*).

En la tabla IV se presenta las equivalencias entre los parámetros de los sistema (*s,Q*) y (*R,S*). Utilizando estas analogías junto con las fórmulas descritas anteriormente se pueden calcular el factor y el *stock* de seguridad.

TABLA IV. ANALOGÍAS ENTRE LOS MODELOS (*s, Q*) Y (*R, S*)

<i>s, Q</i>	<i>R, S</i>
S	S
Q	DR
L	L+R

3) Salidas

- a. *Costo total relevante (TRC por sus siglas en inglés)*: para la gestión de inventarios es importante saber (para propósitos de toma de decisiones) cuánto costará la estrategia seleccionada para controlar los inventarios, dividida en tres categorías: costos de mantener, costos de ordenar y costos de agotados. Si el factor de seguridad fue calculado con base en el costo por evento de agotado (*BI*) o por nivel de servicio en el ciclo (*PI*), el TRC esperado tiene que ser calculado utilizando la expresión (14):

$$TRC = \frac{AD}{Q} + \left(\frac{Q}{2} + k\sigma_L\right) vr + \frac{D}{Q} B1p_{u\geq}(k) \quad (14)$$

En caso de utilizar la regla de decisión basada en el cargo porcentual por unidad agotada (*B₂*) o por el nivel de servicio en unidades (*P2*), el costo total relevante deberá ser calculado con la ecuación (15):

$$TRC = \frac{AD}{Q} + \left(\frac{Q}{2} + k\sigma_L\right) vr + \frac{B2v\sigma_L G_u(k)D}{Q} \quad (15)$$

- b. *Comportamiento del inventario y del nivel de servicio*: finalmente, un DSS para la gestión de inventarios debe proveer un resultado gráfico del comportamiento del inventario y del nivel de servicio que se puede lograr con las políticas seleccionadas. Para ello es necesario implementar un modelo de simulación que se ajuste al sistema de control de inventarios propuesto, con el propósito de verificar si los valores esperados tanto en relación con los niveles de servicio como a los costos concuerdan con los valores obtenidos por la política de control definida.

Con el objetivo de evidenciar el margen de precisión que ofrecen los cálculos de los parámetros, costos y niveles de servicio ilustrados previamente se desarrolló un modelo en Visual Basic for Applications de Excel® que permite simular el comportamiento del inventario controlado con la política de punto de orden, cantidad por ordenar (*s,Q*). El modelo de simulación supone que la demanda es aleatoria

MARCO DE REFERENCIA PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE APOYO PARA LA TOMA DE DECISIONES PARA LA GESTIÓN DE INVENTARIOS

distribuida normalmente y el tiempo de entrega por parte del proveedor es conocido y constante (la variabilidad en el tiempo de entrega se considera despreciable). Igualmente, se supone que todas unidades agotadas son faltantes que pueden ser abastecidas en el siguiente ciclo de suministro. En la Fig. 2 se presenta la pantalla inicial del simulador, en la cual se deben ingresar los parámetros de entrada del modelo de inventarios (definidos en el esquema de la Fig. 1) y los datos requeridos para efectuar la simulación, como son el número de períodos por simular, la demanda promedio y su desviación estándar, el número de iteraciones iniciales, así como nivel de confianza y error admisible que se desea del proceso. Después de efectuada la simulación, igualmente en esta pantalla se despliega el estado resultante de la demanda simulada, el inventario neto y su posición, así como el número de veces y el momento en el cual se liberó una orden de reabastecimiento de los primeros períodos.

La Fig. 3 muestra el comportamiento resultante del inventario durante el horizonte de planeación, así como los valores esperados para el nivel de servicio y el costo total relevante. De este modo, la simulación permite conocer el número de veces que se lanzó una orden, el inventario promedio que se mantiene y las ocasiones y magnitudes de los agotados.

Con el fin de obtener resultados estadísticamente significativos, el modelo de simulación es ejecutado iterativamente hasta que se alcanza una cantidad adecuada de repeticiones. Finalmente, como se observa en la Fig. 4, como el simulador presenta los costos totales relevantes y el nivel de servicio logrado con los parámetros ingresados, los cuales son confrontados con los resultados teóricos obtenidos en el marco de referencia descrito en este artículo, permitiendo verificar o no si la parametrización realizada de forma teórica genera los resultados esperados en una “realidad” simulada en condiciones normales, lo que mejora significativamente el proceso de toma de decisiones.



Fig. 2. Pantalla inicial del simulado
Fuente: Autores.

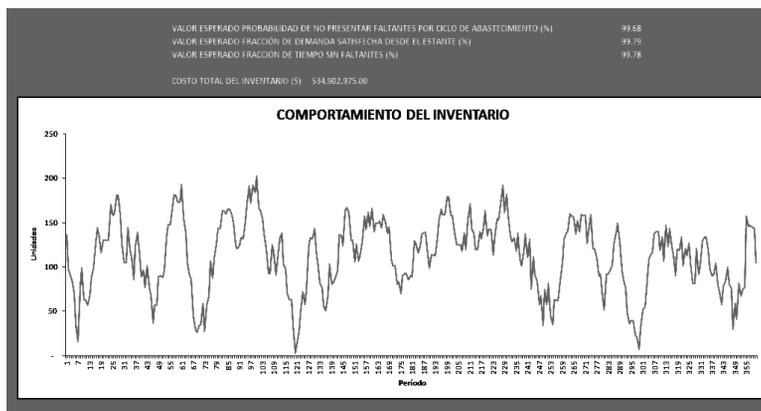


Fig. 3. Simulación del comportamiento del inventario para un ítem
Fuente: Autores.

RESULTADOS CÁLCULO ITERATIVO								
N° ITERACIÓN	PROBABILIDAD DE NO PRESENTAR FALTANTES POR CICLO DE ABASTECIMIENTO (%)	FRACCIÓN DE DEMANDA SATISFECHA DESDE EL ESTANTE (%)	FRACCIÓN DE TIEMPO SIN FALTANTES (%)	COSTO DE COMPRA (\$)	COSTO DE ORDENAR (\$)	COSTO DE MANTENER (\$)	COSTO DE FALTANTES (\$)	COSTO TOTAL (\$)
1	99.5652	99.9833	99.7222	\$ 36,960,000.0	\$ 690,000.0	\$ 157,620.8	\$ 3,900.0	\$ 37,211,520.8
2	99.5392	99.9296	99.7222	\$ 34,560,000.0	\$ 651,000.0	\$ 166,333.3	\$ 15,600.0	\$ 35,392,933.3
3	99.5516	99.9176	99.7222	\$ 36,940,000.0	\$ 669,000.0	\$ 154,305.0	\$ 19,500.0	\$ 37,862,825.0
4	99.5671	99.9300	99.7222	\$ 34,800,000.0	\$ 693,000.0	\$ 164,550.0	\$ 15,600.0	\$ 35,675,150.0
5	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 34,920,000.0	\$ 660,000.0	\$ 165,491.7	\$ -	\$ 35,745,491.7
6	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 33,480,000.0	\$ 639,000.0	\$ 171,766.7	\$ -	\$ 34,290,766.7
7	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 34,440,000.0	\$ 654,000.0	\$ 166,854.2	\$ -	\$ 35,260,854.2
8	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 35,040,000.0	\$ 663,000.0	\$ 164,475.0	\$ -	\$ 35,867,475.0
9	99.5536	99.8845	99.7222	\$ 36,840,000.0	\$ 672,000.0	\$ 155,612.5	\$ 27,300.0	\$ 37,694,912.5
10	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 35,040,000.0	\$ 666,000.0	\$ 163,254.2	\$ -	\$ 35,869,254.2
11	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 31,080,000.0	\$ 636,000.0	\$ 183,412.5	\$ -	\$ 31,899,412.5
12	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 32,880,000.0	\$ 633,000.0	\$ 174,516.7	\$ -	\$ 33,687,516.7
13	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 32,520,000.0	\$ 642,000.0	\$ 176,612.5	\$ -	\$ 33,338,612.5
14	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 36,840,000.0	\$ 687,000.0	\$ 154,458.3	\$ -	\$ 37,681,458.3
15	99.5495	99.9822	99.7222	\$ 34,320,000.0	\$ 666,000.0	\$ 168,462.5	\$ 3,900.0	\$ 35,158,362.5
16	99.0826	99.1956	99.4444	\$ 35,520,000.0	\$ 654,000.0	\$ 162,025.0	\$ 183,300.0	\$ 36,519,325.0
17	97.7277	97.0416	97.7778	\$ 35,400,000.0	\$ 660,000.0	\$ 162,954.2	\$ 670,800.0	\$ 36,893,754.2
18	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 35,520,000.0	\$ 681,000.0	\$ 161,316.7	\$ -	\$ 36,362,316.7
19	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 34,800,000.0	\$ 651,000.0	\$ 164,887.5	\$ -	\$ 35,615,887.5
20	100.0000	100.0000	100.0000	\$ 34,080,000.0	\$ 654,000.0	\$ 168,975.0	\$ -	\$ 34,902,975.0

Fig. 4. Resultados de la corrida iterativa del modelo de simulación
Fuente: Autores.

V. CONCLUSIONES

Un sistema de soporte a la toma de decisiones es una herramienta generalmente computacional que ayuda a soportar y mejorar la toma de decisiones gerenciales. La gestión de inventarios es una de estas áreas gerenciales encargada de decidir para una gran cantidad de ítems, qué, cuándo y cuánto ordenar. De estas decisiones dependerá que el flujo de efectivo y la liquidez de la empresa sean adecuados para lograr los niveles de servicio esperados por los clientes, lo cual se traduce en un mejoramiento de la competitividad de la compañía. Desafortunadamente, en las empresas este manejo se le ha asignado a mandos medios y bajos que, en la mayoría de los casos, no tienen ni las herramientas ni los conocimientos necesarios para realizar técnicamente este proceso, tomando decisiones netamente por intuición y/o experiencia.

En este artículo se propone un marco de referencia en el que se detallan las entradas y los procesos requeridos para obtener, de forma teórica, los parámetros en los modelos de gestión de inventario más utilizados a nivel empresarial, así como los modelos de cálculo utilizados para conocer el desempeño esperado en términos de niveles de servicio y costos. Asimismo, se presenta un modelo de simulación construido con base en el marco propuesto para el sistema (s,Q), resaltando la importancia de los simuladores como herramienta final de los DSS para gestión de inventarios, ya que permiten comparar el desempeño logrado por el modelo y el desempeño esperado, aumentando la probabilidad de éxito al realizar la implementación real y disminuyendo los riesgos y los efectos negativos que este tipo de implementaciones pueden tener dentro de la organización. Es así como los encargados del área de gestión y control de inventarios pueden tener una mayor cantidad de información que agilice y mejore el proceso de toma de decisiones, en un área de investigación que en los últimos tiempos ha adquirido mayor relevancia gracias a su influencia directa sobre la rentabilidad y la competitividad de las empresas.

REFERENCIAS

- [1] E. Silver, D. F. Pyke, and R. Peterson, *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, 3rd ed. New York: Wiley, 1998.
- [2] R. Ballou, *Business Logistics Management*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.
- [3] S. Chopra and P. Meindl, *Supply Chain Management*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006.
- [4] S. Nahmias, *Production and Operations Analysis*, 5th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2004.
- [5] P. Mandal and a Gunasekaran, "Application of SAP R/3 in on-line inventory control", *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 75, n° 1-2, pp. 47-55, Jan. 2002.
- [6] B. Uttarayan, "The effect of RFID on inventory management and control", in *Trends in Supply Chain Design and Management*. London: Springer, 2007, pp. 71-92.
- [7] K. Aardal, O. Jonsson, and H. Jonsson, "Optimal Inventory Policies with Service-Level Constraints", *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 40, n° 1, pp. 65-73, 1989.
- [8] W. J. Hopp, M. L. Spearman, and R. Q. Zhang, "Easily Implementable Inventory Control Policies", *Oper. Res.*, vol. 45, n° 3, pp. 327-340, Jun. 1997.
- [9] H. Schneider, "Effect of service-levels on order-points or order-levels in inventory models", *Int. J. Prod. Res.*, vol. 19, no. 6, pp. 615-631, 1981.
- [10] V. Gutiérrez y D. P. Jaramillo, "Reseña del software disponible en Colombia para la gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento", *Estud. Gerenciales*, vol. 25, n°110, pp. 125-153, 2009.
- [11] J. H. Y. Yeung, W. C. K. Wong, and L. Ma, "Parameters affecting the effectiveness of MRP systems : A review", *Int. J. Prod. Res.*, vol. 36, n° 2, pp. 313-331, 1998.
- [12] R. Q. Zhang, W. J. Hopp, and C. Supatgiat, "Spreadsheet Implementable Inventory Control for a Distribution Center", *J. Heuristics*, vol. 203, pp. 185-203, 2001.
- [13] M. A. Cohen, Y.-S. Zheng, and V. Agrawal, "Service parts logistics: a benchmark analysis", *IIE Trans.*, vol. 29, n° 8, pp. 627-639, 1997.
- [14] V. Gutiérrez and L. F. Rodríguez, "Diagnóstico regional de gestión de inventarios en la industria de producción y distribución de bienes", *Rev. Fac. Ing. la Univ. Antioquia*, vol. 45, pp. 157-171, 2008.
- [15] M. F. Rey, Encuesta Nacional Logística: Resultados del Benchmarking Logístico - Colombia 2008. 2008.
- [16] E. A. Silver, "Inventory Management : An Overview , Canadian Publications , Practical..." INFOR Inf. Syst. Oper. Res., vol. 46, n° 1, pp. 15-28, 2008.

MARCO DE REFERENCIA PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE APOYO PARA LA TOMA DE DECISIONES PARA LA GESTIÓN DE INVENTARIOS

- [17] G. Vastag and F. Montabon, "Linkages among manufacturing concepts, inventories, delivery service and competitiveness", *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 71, n° 1-3, pp. 195-204, May 2001.
- [18] Y. B. Moon, "Enterprise Resource Planning (ERP): a review of the literature", *Int. J. Manag. Enterp. Dev.*, vol. 4, n° 3, p. 235, 2007.
- [19] E. M. Shehab, M. W. Sharp, L. Supramaniam, and T. A. Spedding, "Enterprise resource planning: An integrative review", *Bus. Process Manag. J.*, vol. 10, n° 4, pp. 359-386, 2004.
- [20] R. Addo-Tenkorang and P. Helo, "Enterprise resource planning (ERP): A review literature report", in *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, Vol. 2, 2011, pp. 19-21.
- [21] E. Nazemi, M. J. Tarokh, and G. R. Djavanshir, "ERP: a literature survey", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 61, n° 9-12, pp. 999-1018, Feb. 2012.
- [22] M. Haddara and O. Zach, "ERP systems in SMEs: A literature review", in *In System Sciences (HICSS), 2011 44th Hawaii International Conference on*. IEEE, pp. 1-10.
- [23] J. R. Muscatello, M. H. Small, and I. J. Chen, "Implementing enterprise resource planning (ERP) systems in small and midsize manufacturing firms", *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 23, n° 8, pp. 850-871, 2003.
- [24] H. a Akkermans, P. Bogerd, E. Yücesan, and L. N. van Wassenhove, "The impact of ERP on supply chain management: Exploratory findings from a European Delphi study", *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 146, n° 2, pp. 284-301, Apr. 2003.
- [25] S. Shang and P. B. Seddon, "A Comprehensive Framework for Classifying the Benefits of ERP Systems", in *Americas Conference on Information Systems*, 2000, pp. 1005-1014.
- [26] M. a. Razi and J. M. Tarn, "An applied model for improving inventory management in ERP systems", *Logist. Inf. Manag.*, vol. 16, n° 2, pp. 114-124, 2003.
- [27] D. Arnott and G. Pervan, "Eight key issues for the decision support systems disciplin", *Decis. Support Syst.*, vol. 44, n° 3, pp. 657-672, Feb. 2008.
- [28] J. Shang, P. Tadikamalla, L. Kirsch, and L. Brown, "A decision support system for managing inventory at GlaxoSmithKline", *Decis. Support Syst.*, vol. 46, n° 1, pp. 1-13, Dec. 2008.
- [29] H. M. Beheshti, "A decision support system for improving performance of inventory management in a supply chain network", *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 59, n° 5, pp. 452-467, 2010.
- [30] K. C. Laudon and J. P. Laudon, *Essentials of management information systems*. Boston: Prentice Hall, 2011.
- [31] D. Arnott and G. Pervan, "A critical analysis of decision support systems research", *J. Inf. Technol.*, vol. 20, n° 2, pp. 67-87, Apr. 2005.
- [32] D. Achabal, "A decision support system for vendor managed inventory", *J. Retail.*, vol. 76, n° 4, pp. 430-454, 2000.
- [33] A. Spyridakos, N. Tsotsolas, J. Mellios, Y. Siskos, D. Yannakopoulos, and P. Kyriazopoulos, "SAINC: self-adapting inventory control decision support system for cement industries", *Oper. Res.*, vol. 9, n° 2, pp. 183-198, Sep. 2008.
- [34] P. Basu and S. K. Nair, "A decision support system for mean-variance analysis in multi-period inventory control", *Decis. Support Syst.*, vol. 57, pp. 285-295, Jan. 2014.
- [35] J. C. Wortmann, "Flexibility of standard software packages for production-inventory control.pdf", *Prod. Plan. Control*, vol. 3, pp. 290-299, 1992.
- [36] V. Pareto, *Manual of Political Economy (English translation)*. New York: A. M. Kelley Publishers, 1971.
- [37] J.-X. Chen, "Peer-estimation for multiple criteria ABC inventory classification", *Comput. Oper. Res.*, vol. 38, n° 12, pp. 1784-1791, Dec. 2011.
- [38] A. Hadi-Vencheh, "An improvement to multiple criteria ABC inventory classification", *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 201, n° 3, pp. 962-965, Mar. 2010.
- [39] a. Hadi-Vencheh and A. Mohamadghasemi, "A fuzzy AHP-DEA approach for multiple criteria ABC inventory classification", *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, n° 4, pp. 3346-3352, Apr. 2011.
- [40] C. A. Castro, M. C. Vélez-Gallego y J. A. Castro, "Clasificación ABC Multicriterio: Tipos de Criterios y Efectos en la Asignación de Peso", *Iteckne*, vol. 8, n° 2, pp. 163-170, 2011.
- [41] J. Rezaei and S. Dowlatshahi, "A rule-based multi-criteria approach to inventory classification", *Int. J. Prod. Res.*, vol. 48, n° 23, pp. 7107-7126, 2010.
- [42] B. Flores and C. Whybark, "Multi Criteria ABC Analysis", *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 6, n° 3, pp. 38-46, 1986.
- [43] R. Ramanathan, "ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization", *Comput. Oper. Res.*, vol. 33, n° 3, pp. 695-700, Mar. 2006.
- [44] S. G. Makridakis, S. C. Wheelwright, and R. J. Hyndman, *Forecasting: Methods and applications*. 3ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1998, p. 656.
- [45] C. Castro, *Planeación de la Producción*. Medellín (Colombia): Editorial Universidad Eafit, 2008, p. 242.
- [46] J. De Gooijer and R. Hyndman, "25 Years of Time Series Forecasting", *Int. J. Forecast.*, vol. 22, n° 3, pp. 443-473, 2006.
- [47] A. A. Syntetos, J. . E. Boylan, and S. M. Disney, "Forecasting for inventory planning: a 50-year review", *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 60, pp. S149-S160, Feb. 2009.
- [48] U. Kusters, B. McCullough, and M. Bell, "Forecasting software: Past, present and future", *Int. J. Forecast.*, vol. 22, n° 3, pp. 599-615, 2006.
- [49] R. Fildes, K. Nikolopoulos, S. F. Crone, and a Syntetos, "Forecasting and operational research: a review", *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 59, n° 9, pp. 1150-1172, May 2008.
- [50] W. C. Benton and S. Park, "A classification of literature on determining the lot size under quantity discounts", *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 92, pp. 219-238, 1996.