

Optimización de inventarios probabilísticos en una empresa comercializadora de productos plásticos: un caso de estudio

Optimization of probabilistic inventories in plastics products commercializing Company: A case study

L. De la Rosa, M. Padilla, A. Pizarro, M. Sánchez & A. Pulido

ldelarosa10@unisimon.edu.co, mpadilla39@unisimon.edu.co, apizarro4@unisimon.edu.co, msanchez38@unisimon.edu.co, apulido3@unisimonbolivar.edu.co

Universidad Simón Bolívar, Barranquilla-Colombia.

Resumen

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 de logística en una empresa. Estos permiten cumplir con los niveles de venta, al tiempo que representan una oportunidad para el control de los costos, la estandarización de la calidad, la planeación de compras y la toma de decisiones. El principal objetivo de esta investigación es establecer las cantidades óptimas de inventarios y reabastecimiento de mercancías con demanda probabilística dentro de una empresa comercializadora de productos plásticos. A fin de cumplir con el objetivo propuesto, se realizó una comparación de los diferentes modelos de inventario, teniendo como criterio de selección el tipo de demanda para los productos claves de la empresa. Para la determinación de la demanda, así como sus cantidades; se seleccionaron tres tipos de productos, tomando datos históricos de ventas. Asimismo, se utilizaron diferentes métodos de pronósticos, seleccionando aquel que minimiza el cuadrado medio del error para la demanda pronosticada. El modelo propuesto permitió optimizar costos de inventario tales como: costos de almacenamiento, deterioro o pérdida, agotamiento, preparación y capital invertido.

Palabras clave:

Inventario, stock, modelo de inventario probabilístico, cantidad económica de pedido, costo total de inventarios.

Abstract

Inventories are accumulations of raw material, components, work in progress and finished products that appear in numerous points along the production and logistics channel of a Company. These allow to the companies meet their sales levels, while representing an opportunity to control costs, quality standardization and decision making. The main objective of this investigation is set the optimal quantities of inventories and replenishment of goods with probabilistic demand within a company that markets plastic products. In order to fulfill the proposed objective, a comparison was made of the different inventory models to be applied, having as selection criterion the type of demand that present the key products of the Company. For the determination of demand, as well as their quantities; three types of products were selected, taking historical sales data. Likewise, different forecast methods were used, selecting the one that minimizes the mean squared error for the forecasted demand. The proposed model allowed optimize inventory costs such as: storage costs, deterioration, loss, preparation and invested capital.

Key words:

Inventory, stock, probabilistic inventory model, economic order quantity, total cost of inventory.

Introducción

Las organizaciones dedicadas a la producción o distribución de productos generalmente tienen algunos interrogantes sobre el

pedido o los productos necesarios. Estas preguntas, generalmente suelen hacerse debido a dos situaciones [1] [2]:

En primer lugar, en caso de escasez, es decir, de insuficiencia de productos para satisfacer la demanda, se generarán pérdidas de ingresos potenciales debido a las ventas que no se lograrán concretar.

En segundo lugar, en caso de exceso de inventarios, se generarán costos de almacenamiento generados por la retención y mantenimiento de mercancías [3].

El reto a vencer es equilibrar las dos situaciones mencionadas anteriormente, es decir, tener las cantidades justas a vender, que permitan la reducción de costos de almacenamiento y a su vez, que eviten la disminución de ventas por falta de mercancía [4] [5].

Para establecer las cantidades óptimas de inventario y reabastecimiento de un producto se debe considerar la demanda que tenga este mismo cada cierto periodo de tiempo (días, semanas, meses, entre otros). Sin embargo, al obtener esta información, puede darse el caso de que el producto en mención tenga una demanda constante o variable; lo que dificultaría el proceso de fijar las cantidades óptimas de pedido a realizar [6]-[9].

El presente proyecto de investigación presenta un caso de estudio en donde se plantean y comparan diferentes modelos de inventario aplicados en una empresa comercializadora de productos plásticos situada en la ciudad de Sincelejo-Colombia. Para lo anterior, la política de inventario diseñada toma en cuenta el comportamiento de la demanda histórica para tres productos de interés: Platos de icopor No. 20, Tubulares x 6 metros de ancho x 450 de largo y Bolsas troqueladas 12 x 16 in. Nuestra idea se centró en determinar una política de inventarios que considere el mejor ajuste del pronóstico de la demanda, a través del cálculo del cuadrado medio del error y su impacto en el inventario de seguridad, buscando determinar el modelo de inventarios apropiado para cada producto.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: La Sección 2 presenta los trabajos realizados; en la sección 3, metodología. Los resultados de los experimentos numéricos se presentan y se analizan en la Sección 4, seguido de nuestras conclusiones en la Sección 5.

Trabajos realizados

A lo largo de la historia, los modelos de inventario han sido tratados por diferentes autores, donde han generado aportes significativos para la temática estudiada, presentando diferentes enfoques de manera cronológica, como se muestra a continuación:

En el año 2000, los autores [10] presentaron un artículo, en el cual proponían una integración de optimización basada en la simulación de la dinámica del sistema y la optimización

multiobjetivo, que investiga el problema de la gestión de existencias a través del modelo de gestión de inventarios desarrollado por Sterman (2000).

En ese mismo año, los autores [11] propusieron, en un congreso de simulación de invierno, determinar una estrategia apropiada para lograr el inventario del cliente y los objetivos de servicio al cliente.

Posteriormente, en el año 2004, [12] presentaron tres modelos clásicos en la teoría del inventario determinista, los cuales pretendían tratar las siguientes problemáticas: tamaño de lote de un solo artículo, reabastecimiento conjunto y montaje en varias etapas, lo cual desempeña un papel fundamental en temas de planificación en la gestión de cadena de suministro.

Tres años más tarde, en el 2007, los autores [13], presentaron, un modelo que trataba de estudiar el problema de estimar los objetivos de inventario a partir de datos de demanda histórica limitada. Al modelar la distribución marginal de la demanda con el Johnson Translation System (Johnson 1949), lograron capturar una amplia variedad de formas distributivas y obtuvieron un modelo de demanda de insumos generalizando el proceso lineal auto-regresivo, que se utiliza ampliamente en el manejo de inventario.

Por otra parte, paralelo a los estudios de [13], los autores [14] presentaron un modelo llamado EVITA, que representó el inventario evolutivo y el algoritmo de transporte, el cual pretende ser una herramienta comercial para solucionar el problema de minimizar los costos de transporte y de inventario de una cadena minorista suministrada desde un almacén central.

Luego, en el año 2010, [15] consideraron un sistema de colas de servidor único con inventario donde los clientes llegan según un proceso de Poisson. Realizaron este sistema con la finalidad de analizar la estabilidad del proceso y el rendimiento del sistema para evitar interrupciones.

Más tarde, en el año 2013, [16] propusieron y justificaron la necesidad de un sistema de mantenimiento de inventario a nivel nacional en un formato uniforme; incluyendo el monitoreo del escenario de desechos electrónicos.

Tiempo después, en el año 2016, [17] propusieron una combinación óptima de instancias reservadas bajo demanda, de modo que la demanda se satisficiera y los costos se redujeran al mínimo. Para lograr este objetivo, este estudio presentó un modelo estocástico de los recursos, basado en la teoría de inventario. La idea es formular el problema de optimización como un problema de mantenimiento de inventario y luego derivar la estrategia óptima.

Ese mismo año, [18] propusieron mejorar el algoritmo propuesto por el problema de enrutamiento de inventario estocástico y compararlo con un nuevo algoritmo, con el fin de mostrar resultados similares en algunos casos y mejorar los

resultados en términos de reducción de tiempo y solución de alta calidad.

Por otra parte, en el año 2017 los autores [19], Presentaron un artículo, en el cual proponen un modelo de fijación de precios y control de inventario de elementos deteriorantes no instantáneos en un crédito comercial de dos niveles en el que el vendedor proporciona un período de crédito al minorista y el minorista a su vez ofrece un retraso en el pago a su cliente.

En ese mismo año los autores [20], presentaron un modelo de control de inventarios cuando los intervalos de reabastecimiento son probabilísticos y de retroacción parcial en los que se produce un aumento de precios anunciado y el comprador puede realizar un pedido especial antes de que se inicie el aumento de precios.

En ese mismo año los autores [21], propusieron un modelo de inventario integrado para encontrar las soluciones óptimas de tamaño de lote, costo de instalación y el número total de envíos del proveedor al comprador en una sola ejecución de producción, de modo que el costo total esperado conjunto tenga el valor mínimo.

En el año 2018, [8] presentaron un artículo en el cual proponen combatir la incertidumbre de la demanda mediante estrategias de sustitución de inventario y venta probabilísticas.

Metodología

Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación se encuentra con datos de carácter cuantitativo, en el cual, a través de las mediciones que se realizaran, se busca explicar y predecir el comportamiento del inventario en la empresa comercializadora de plásticos; además posee un enfoque causal, porque, por medio de las diferentes cantidades, se cuantifica la relación que existe entre las unidades que se tienen y los costos de las referencias estudiadas.

El método utilizado en la investigación es de tipo inductivo, ya que este se basa en la observación, el estudio y la experimentación del inventario en la empresa, para así poder llegar a la elaboración de las conclusiones pertinentes.

Esta investigación toma como información real acerca de los datos de demandas mensuales históricas, tipos de productos, costos directos e indirectos y tiempos de entrega (Lead time) de cada producto.

La muestra estará conformada por tres tipos de artículos que se adquieren y comercializan, estos son: Platos de icopor No. 20, Tubulares x 6 metros de ancho x 450 de largo y Bolsas troqueladas 12 x 16 in.



Figura 1. Platos de icopor No. 20, Tubulares x 6 metros de ancho x 450 de largo y Bolsas troqueladas 12 x 16 in.

La selección de estos productos como muestra se debe a su mayor volumen de ventas y, por consiguiente, a sus altos niveles de rotación dentro del inventario de la empresa. Los datos históricos de demanda, así como el tipo de producto, costo unitario, costo de pedido, tiempos de entrega y costos de almacenamiento se muestran en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Costos por producto

Productos	Platos de icopor no. 20 x 20 Uds.	Tubulares x 6 metros de ancho x 450 de largo	Bolsas troqueladas 12x 16 x 100 Uds.
Costo de pedido	\$1.200	\$4.000	\$10.000
Costo unitario	\$1.800	\$6.000	\$16.000
Costo de almacenamiento (\$/unidad*día)	\$1,94	\$100,33	\$3,34
Demanda anual	36792	165	1750
Unidad de medida	Paquetes	Rollos	Paquetes

Modelos de inventario

Un modelo de inventario es un método utilizado para optimizar los niveles de existencias en bodega, el cual permite establecer cada cuánto tiempo y en qué cantidad se debe hacer un nuevo pedido, incurriendo en el mínimo costo de almacenamiento posible y abarcando la totalidad de la demanda. Existen diferentes tipos de modelos, y el uso de cada uno de ellos depende de un parámetro muy importante, el tipo de demanda: esta puede ser determinística o probabilística [2].

Para determinar matemáticamente si una demanda es determinística o probabilística, se hace uso del coeficiente de variación, el cual relaciona la media y la desviación estándar de la demanda durante cierto periodo de tiempo (semanal, mensual, trimestral, etc.). La relación para obtener el coeficiente de variación quedaría de la siguiente forma:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (1)$$

Donde;

CV: Coeficiente de variación de la demanda

σ : Desviación estándar de la demanda

\bar{x} : Media de la demanda

Tabla 2. Demandas de los productos por año

Año	Mes	PLATOS NO. 20	TUBULARES X6 METROS	BOLSAS
2014	Enero	3.600	18	280
	Febrero	2.784	12	200
	Marzo	2.400	15	130
	Abril	3.000	17	140
	Mayo	3.000	20	180
	Junio	2.880	15	150
	Julio	2.400	15	120
	Agosto	3.600	16	120
	Septiembre	3.144	19	220
	Octubre	3.120	18	160
	Noviembre	4.080	20	190
	Diciembre	3.840	24	260
2015	Enero	3.120	15	180
	Febrero	2.760	11	170
	Marzo	2.060	12	90
	Abril	2.808	15	130
	Mayo	2.800	14	150
	Junio	2.664	14	140
	Julio	2.304	13	110
	Agosto	3.480	11	90
	Septiembre	3.100	15	200
	Octubre	3.150	12	130
	Noviembre	3.835	16	185
	Diciembre	3.646	22	200
2016	Enero	3.000	12	200
	Febrero	2.520	10	150
	Marzo	2.300	14	100
	Abril	3.000	15	120
	Mayo	2.808	18	150
	Junio	2.515	11	120
	Julio	2.400	10	100
	Agosto	3.600	12	120
	Septiembre	3.120	14	170
	Octubre	3.214	10	150
	Noviembre	3.815	19	180
	Diciembre	4.500	20	190
2017	Enero	3.360	14	240
	Febrero	2.760	11	160
	Marzo	2.110	18	115
	Abril	2.760	12	150
	Mayo	3.000	15	180
	Junio	2.635	15	110
	Julio	2.520	16	160
	Agosto	3.360	11	100
	Septiembre	3.240	20	180
	Octubre	3.070	15	140
	Noviembre	3.840	18	200
	Diciembre	4.675	25	250

La demanda se considerará determinística si $CV < 20\%$; en caso contrario, la demanda se considerará probabilística [2].

En esta investigación se trabajará con modelos de inventario probabilísticos ya que la demanda de los

productos analizados es probabilística, lo cual podrá observar en el capítulo IV.

Modelo EOQ “probabilizado”

Este modelo parte de la idea de que el periodo crítico dentro de un ciclo de inventario se encuentra entre la solicitud y el ingreso del siguiente pedido, pues, durante este periodo podría presentarse un agotamiento en el inventario [2]. Para evitar estas eventualidades, se considera la idea de tener cierta cantidad de provisiones o inventario de seguridad.

Una consideración muy importante en el modelo es la idea de que la distribución de la demanda por unidad de tiempo es normal con media D y desviación estándar σ . Asimismo, la demanda durante el tiempo de espera se supone normal con media:

$$\mu L = DL \quad (2)$$

Donde;

μL : Es la demanda promedio durante el tiempo de espera.

L : Es el tiempo de espera entre la solicitud del pedido y su llegada (debe ser un valor entero; en caso contrario, aproximarlos).

y desviación estándar:

$$\sigma L = \sqrt{L}\sigma \quad (3)$$

La cantidad de unidades de reserva B se establece de tal manera que la probabilidad de faltantes durante el tiempo de espera L sea por lo menos α , es decir:

$$P\{XL \geq ss + \mu L\} \leq \alpha \quad (4)$$

Utilizando $N(0,1)$, $z = \frac{XL - \mu L}{\sigma L}$, obtenemos:

$$P\{z \geq \frac{ss}{\sigma L}\} \leq \alpha \quad (5)$$

Donde;

XL : Es la demanda real durante el tiempo de espera

ss : Es el stock de seguridad

Si se define el parámetro $Z\alpha$ para la distribución normal estándar de modo que $P\{z \geq Z\alpha\} \leq \alpha$, se obtiene:

$$ss \geq \sigma L * Z\alpha \quad (6)$$

La ecuación anterior permitirá obtener las cantidades de reserva mínimas. (El valor de $Z\alpha$ puede determinarse desde la tabla normal estándar).

Modelo EOQ probabilístico

Este modelo se caracteriza por tener en consideración la naturaleza incierta de la demanda como parte de la información necesaria para aplicarlo.

Considerando el hecho de que, en los tiempos de espera, puede darse la eventualidad de faltantes, la política de este modelo es pedir la cantidad óptima (Q) cada vez que el inventario disponible llegue hasta el punto de reorden (R). Este punto es una función del tiempo de espera entre la solicitud y la recepción de un pedido. Los valores óptimos de (Q) y (R) se determinan minimizando la suma esperada de los costos de retención y los costos de faltantes por unidad de tiempo [2].

Las fórmulas de los elementos que conforman la función de costo total por unidad de tiempo son las siguientes [2]:

- Costo de preparación por unidad de tiempo:

$$KDQ \quad (7)$$

Donde;

D: Es la demanda esperada por unidad de tiempo.

K: Es el costo de preparación por pedido.

- Costo de retención esperado por unidad de tiempo:

$$hI \quad (8)$$

Donde;

h: Es el costo de retención por unidad de inventario por unidad de tiempo

I: Es el nivel de inventario promedio, y se calcula como:

$$I = (y + E\{R-x\}) + E\{R-x\}^2 = y + R - E\{x\} \quad (9)$$

La fórmula promedia los inventarios inicial y final esperados en un ciclo, los cuales son $(y + E\{R-x\})$ y $E\{R-x\}$ respectivamente. Como una aproximación, la expresión ignora el caso en que $R - E\{x\}$ pueda ser negativo.

- Costo por faltantes esperado:

$$S = \int (x-R)f(x)dx \infty R \quad (10)$$

- Costo por faltantes por unidad de tiempo:

$$pDSy \quad (11)$$

Donde;

p: Es el costo por faltantes por unidad de inventario.

La función de costo total por unidad de tiempo (TCU) resultante es la suma del costo de preparación por unidad de tiempo, el costo de retención esperado por unidad de tiempo y el costo por faltante por unidad de tiempo, la función quedaría:

$$TCU(y,R) = DKy + h(y + R - E\{x\}) + pDy \int (x-R)f(x)dx \infty R \quad (12)$$

Si se aplica derivada parcial a la función de costo total por unidad de tiempo (TCU) con respecto a la variable independiente (y) y otra con respecto a la variable independiente (R) y se iguala ambos resultados a cero, al despejar la variable y en ambos casos se obtendrán las siguientes ecuaciones:

$$y^* = \sqrt{2D(K+pS)h} \quad (13)$$

$$\int f(x)dx = hy^*pD \infty R \quad (14)$$

Para hallar los valores óptimos de y^* y R^* se aplica un algoritmo iterativo a las ecuaciones anteriores iniciando con $R=0$, obteniendo:

$$\hat{y} = \sqrt{2D(K+pE\{x\})h} \quad (15)$$

$$\tilde{y} = pDh \quad (16)$$

Los valores óptimos, tanto para y^* como para R^* existen cuando $\tilde{y} \geq \hat{y}$. El valor mínimo de y^* es:

$$y^* = \sqrt{2KDh} \quad (17)$$

el cual se da cuando $S=0$.

La diferencia entre el modelo de EOQ probabilizado y el modelo EOQ probabilístico radica en que el EOQ probabilizado toma el EOQ clásico y le ajusta el concepto de probabilidad considerando que la demanda durante el tiempo de espera puede variar, es por esto que consideran unas unidades de reserva para el tiempo de espera del pedido, mientras que en el EOQ probabilístico el tiempo de espera entre la solicitud y la recepción del pedido se modela mediante una función de probabilidad, ya que este modelo, toma en cuenta la naturaleza incierta de la demanda como parte de las variables necesarias para aplicarlo [2].

Modelos de pronóstico

Un pronóstico es una estimación cuantitativa o cualitativa de una o varias variables que conforman un evento futuro con base en datos históricos. El pronóstico sólo será útil si el costo de realizarlo es menor al beneficio obtenido a partir de la toma de decisiones bajo certidumbre [22].

Método de promedio móvil

El método de los promedios móviles utiliza el promedio de los n valores de datos más recientes en la serie de tiempo como el pronóstico para el siguiente periodo [6]. Matemáticamente;

$$\text{Promedio móvil: } \frac{\sum_{i=1}^n \text{puntos de datos más recientes}}{\text{numero de datos}} \quad (18)$$

El término móvil indica que, mientras se dispone de una nueva observación para la serie de tiempo, reemplaza a la observación más antigua de la ecuación (18), y se calcula un promedio nuevo. Como resultado, el promedio cambiará, o se moverá, conforme surjan nuevas observaciones.

Método de promedio móvil ponderado

En el método de promedio móvil, cada observación en el cálculo recibe el mismo peso [6], mientras que en el método de promedio móvil ponderado se puede asignar cualquier importancia o peso a cualquier dato del promedio.

$$\text{Promedio móvil ponderado} = \frac{D_{n-1} * \beta + D_{n-2} * \delta + D_{n-k} * \gamma}{\dots} \quad (19)$$

Donde;

D_{n-1} = Demanda real del periodo n-1

k = Numero de periodos escogidos

δ, β, γ = Representan valoraciones dadas

Modelo de suavización exponencial

En el método de suavizamiento exponencial se usa un promedio ponderado de los valores pasados de la serie de tiempo; es un caso especial del método de promedios ponderados móviles; en este caso sólo hay que elegir un peso, el peso para la observación más reciente. Los pesos para los demás datos se calculan automáticamente y son más pequeños a medida que los datos son más antiguos [23].

El método de suavización exponencial está dado por la siguiente formula:

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\theta)F_t \quad (20)$$

Donde;

F_{t+1} = Pronostico para el periodo t+1 de la serie de tiempo

Y_t = Valor real en el periodo t de la serie de tiempo

F_t = Pronostico para el periodo t de la serie de tiempo

θ = Constante de suavizamiento ($0 \leq \theta \leq 1$)

Precisión del pronóstico:

Una consideración importante en la selección de un método de elaboración de pronósticos es la precisión del pronóstico. Lo que se busca es pronosticar que los errores sean menores.

El error cuadrado medio (ECM) es una medida de uso frecuente de la precisión de un método de elaboración de pronósticos y es la medida utilizada en esta investigación.

$$ECM = \frac{\sum (\text{Error del pronostico})^2}{\text{numero de datos}} \quad (21)$$

El error del pronóstico está dado por la siguiente formula,

$$e_t = Y_t - F_t \quad (22)$$

Mediante la precisión del pronóstico, se determina el método de pronostico que más se ajuste a los datos históricos de la demanda de cada producto, seleccionando aquel que minimice el error de cuadrado medio (ECM).

El método seleccionado servirá para el cálculo del stock de seguridad (ss), el cual es presentado en la ecuación (6). Una de las variables que intervienen en el cálculo de esta ecuación es la desviación estándar de los datos históricos que se obtiene mediante la expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (D_n - \mu)^2}{n-1}} \quad (23)$$

Donde;

D_n = Demanda real en el periodo n

μ = Promedio de los datos históricos

Con base en [24] existe otro método para el cálculo de la desviación estándar, este método se ajusta mediante la desviación absoluta media (MAD). Matemáticamente, la desviación estándar ajustada se expresa

como:

$$\sigma_1 = \sqrt{\pi/2} * MAD$$

Donde el MAD puede ser calculado de dos formas: para datos

históricos y para datos pronosticados. El MAD histórico es calculado como el promedio de las desviaciones absolutas entre cada dato real (D_n) y el promedio de los datos; por otra parte, el MAD del pronóstico se calcula como el promedio de las desviaciones absolutas entre cada dato real (D_n) y cada dato pronosticado para el mismo periodo.

Matemáticamente, el cálculo del MAD de los datos históricos se determina mediante la siguiente fórmula:

$$MAD = \sum |D_n - \mu| / n_i = 1n \quad (24)$$

Asimismo, la fórmula para determinar el MAD de los errores del

pronóstico es:

$$MAD = \sum |D_n - Ft| / n_i = 1n \quad (25)$$

Procedimiento

Con la finalidad de identificar el tipo de demanda de los productos estudiados y de esta manera, el tipo de modelo a implementar, se calculó el coeficiente de variación (Ecuación 1). Los resultados obtenidos de dicho cálculo se presentan en la tabla 3.

A fin de describir el comportamiento de la demanda de cada producto y su proyección a través del tiempo, se aplicaron los métodos de pronóstico detallados en la sección C, el criterio utilizado para seleccionar el método que más se ajustara a la demanda histórica fue el error de cuadro medio (ECM); buscando minimizar este error, se hicieron pruebas al método de promedio móvil simple con diferentes periodos y al método de promedio móvil ponderado con diferentes periodos y participaciones; luego, estas pruebas se compararon entre sí, seleccionando el mejor método de promedio móvil y promedio móvil ponderado para cada uno de los productos, en las tablas 4 y 5 se presentan los ECM obtenidos en los métodos mencionados con diferentes periodos.

Para minimizar el ECM en el método de suavización exponencial de cada uno de los productos estudiados se determinó la constante de suavización; para ello, considerando las restricciones de este parámetro, se hizo uso de la herramienta Solver de Excel, la cual permitió

encontrar un valor que oscilara entre 0 y 1 que a su vez optimizara la precisión del método para cada uno de los productos.

Luego de optimizar y obtener los tres mejores métodos para cada uno de los productos, se hizo una nueva comparación entre estos, seleccionando aquel con el mínimo valor del ECM (tabla 6).

Considerando la simplicidad en su aplicación, el modelo de inventario seleccionado fue el EOQ probabilizado con periodicidad mensual; sin embargo, como se observó en la sección B, los costos de almacenamiento de unidades de reserva incurridos en el modelo dependen directamente de una medida de dispersión entre los datos históricos de demanda y los datos pronosticados, por lo que se consideraron tres alternativas para el cálculo de la desviación que minimizara tales costos; estas alternativas fueron: desviación estándar de los datos históricos, desviación absoluta con MAD ajustado para datos históricos y desviación absoluta con MAD ajustado para datos pronosticados; el criterio para su selección se basa en el menor valor de las tres alternativas para cada producto. Los datos de los errores absolutos (EA) utilizados para el cálculo del MAD y la gráfica comparativa a través del tiempo entre estos, así como las desviaciones calculadas se presentan en las tablas 10 y 11.

Finalmente, utilizando como datos de entrada la información obtenida de los costos incurridos en cada producto presentados en la tabla 1 para el modelo EOQ probabilizado, se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 12.

Resultados

Tabla 3. Coeficiente de variación para cada producto

Productos	Platos No. 20	Tubulares x 6 metros	Bolsas troqueladas
Media	3,077	15	160
Des. Est.	582,03	3,66	45,02
Coef. Variación	18,92%	23,90%	28,21%

Tipo de demanda Demanda probabilística Demanda probabilística Demanda probabilística

Como puede observarse, el coeficiente de variación calculado para la demanda de Platos No. 20 es 18.92 %; sin embargo, debido a la cercanía al valor de referencia de 20%, su demanda se asumirá como probabilística, por tal motivo, se aplicó uno de los modelos de inventario probabilísticos para cada producto.

Tabla 4. Error de cuadrado medio (ECM) para promedio móvil simple

ECM PARA PROMEDIO MÓVIL SIMPLE			
Periodos	Platos No. 20	Tubulares	Bolsas Troqueladas
2	394.591,96	18,03	2.376,63
3	387.614,32	16,37	2.196,54
4	397.256,14	15,73	2123,72
5	449.595,85	15,53	2.300,65
6	488.416,16	14,83	2.549,14
7	497.697,60	14,98	2.486,26
8	484.225,10	15,58	2.373,63

Tabla 5. Error de cuadrado medio (ECM) para promedio móvil ponderado

ECM PARA PROMEDIO MÓVIL PONDERADO				
Periodos	Participación	Platos No. 20	Tubulares	Bolsas Troqueladas
2	60% - 40%	370.795,96	17,51	2.295,83
	70% - 30%	353.873,21	17,36	2.266,46
3	50% - 30% - 20%	352.129,93	16,08	2.058,73
	65% - 20% - 15%	331.323,66	16,14	2.054,01
4	45% - 25% - 20% - 10%	351.967,51	15,53	2.006,64
5	40% - 25% - 20% - 10% - 5%	372.806,49	15,31	2.067,36
	45% - 25% - 15% - 10% - 5%	363.555,52	15,43	2.046,67
6	40% - 25% - 15% - 12% - 5% - 3%	381.016,49	15,32	2.116,43
	35% - 25% - 15% - 12% - 8% - 5%	396.958,00	15,17	2.164,88

Los resultados presentados en las tablas 4 y 5 permitieron establecer el número de periodos a utilizar en los métodos de promedio móvil simple y promedio móvil ponderado. Como consecuencia, se determinaron métodos de promedio móvil simple y ponderado de 3, 6 y 4 periodos para Platos No. 20, Tubulares y Bolsas troqueladas, respectivamente.

Tabla 6. Comparativo del error de cuadrado medio (ECM) para cada producto

Productos	ECM		
	Promedio móvil	Promedio móvil ponderado	Suavización exponencial
Platos No. 20	387.614,32	331.323,66	342.005,87
Tubulares	14,83	15,17	14,10
Bolsas troqueladas	2.123,72	2.006,64	2.287,41

Debido a los resultados presentados en la tabla 4, el método de pronóstico seleccionado para Platos No. 20 y Bolsas troqueladas fue el promedio móvil ponderado; para el caso de Tubulares, el método seleccionado fue el de suavización exponencial.

Cabe destacar que, para determinar la constante de suavización que minimizara el ECM del método de suavización exponencial de cada uno de los productos analizados se hizo uso de la herramienta Solver de Excel, obteniendo un valor de 0.2 para el pronóstico de Tubulares; de manera similar, para los métodos de promedio móvil simple y promedio móvil ponderado se

hicieron pruebas con 2, 3, 4 y 5 periodos, escogiendo aquel que minimizara su ECM; como resultado se determinó un promedio móvil ponderado de 3 periodos con pesos de 0.65, 0.20 y 0.15 para Platos No. 20 y un promedio móvil ponderado de 4 periodos con pesos de 0.45, 0.25, 0.20 0.10 para Bolsas troqueladas.

Tabla 7. Método de promedio móvil ponderado para platos No. 20

MÉTODO DE PROMEDIO MÓVIL PONDERADO PLATOS No. 20										
Mes	Año	Demand	Pronostico	Error del pronostico	Cuadrado del error	Año	Demand	Pronostico	Error del pronostico	Cuadrado del error
ENERO	2014	3.600				2014	3.000	3.609,40	-609,40	371.368,36
FEBRERO		2.784					2.520	3.254,45	-734,45	539.416,80
MARZO		2.400					2.300	2.784,90	-484,90	235.128,01
ABRIL		3.000	2.656,80	343,20	117.786,24		3.000	2.446,00	551,00	303.601,00
MAYO		3.000	2.947,60	152,40	23.225,76		2.808	2.788,00	20,00	400,00
JUNIO		2.880	2.910,00	-30,00	900,00		2.515	2.770,20	-255,20	65.127,84
JULIO		2.400	2.922,00	-522,00	272.484,00		2.400	2.646,35	-246,35	60.688,32
AGOSTO		3.600	2.586,00	1.014,00	1.028.196,00		3.600	2.484,20	1.115,80	1.245.009,6
SEPTIEMBRE		3.144	3.252,00	-108,00	11.664,00		3.120	3.197,25	-77,25	5.967,56
OCTUBRE		3.120	3.123,60	-3,60	12,96		3.214	3.108,00	106,00	11.236,00
NOVIEMBRE		4.080	3.196,80	883,20	780.042,24		3.815	3.213,10	561,90	315.731,61
ENERO	2015	3.840	3.747,60	92,40	8.537,76	2015	4.500	3.590,55	909,45	827.099,30
FEBRERO		3.120	3.780,00	-660,00	435.600,00		3.360	4.170,10	-810,10	656.262,01
MARZO		2.760	3.408,00	-648,00	419.904,00		2.760	3.656,25	-896,25	803.264,06
ABRIL		2.060	2.994,00	-934,00	872.356,00		2.110	3.141,00	-1.031,00	1.062.961,00
MAYO		2.808	2.359,00	449,00	201.601,00		2.760	2.427,50	332,50	110.556,25
JUNIO		2.800	2.651,20	148,80	22.141,44		3.000	2.630,00	370,00	136.900,00
JULIO		2.664	2.690,60	-26,60	707,56		2.635	2.818,50	-183,50	33.672,25
AGOSTO		2.304	2.712,80	-408,80	167.117,44		2.520	2.726,75	-206,75	42.745,56
SEPTIEMBRE		3.480	2.450,40	1.029,60	1.060.076,2		3.360	2.615,00	745,00	555.025,00
OCTUBRE		3.100	3.122,40	-22,40	501,76		3.240	3.083,25	156,75	24.570,56
NOVIEMBRE		3.130	3.056,60	73,40	5.387,56		3.070	3.156,00	-86,00	7.396,00
ENERO	2016	3.835	3.189,50	645,50	416.670,25	2016	3.840	3.147,50	692,50	479.556,25
FEBRERO		3.646	3.387,75	258,25	3.393,06		4.675	3.596,00	1.079,00	1.164.241,00
ENERO	2018					2018				4.267,25

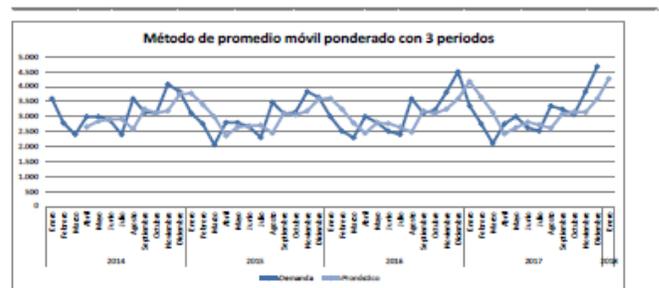
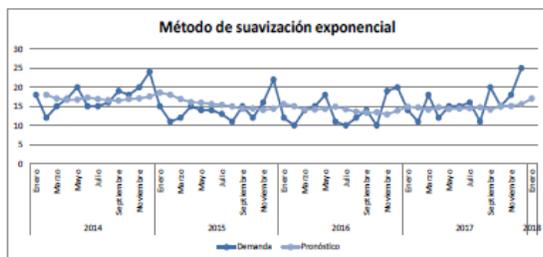


Figura 2. Grafica del método de promedio móvil ponderado con 3 periodos para platos No. 20

Tabla 8. Método de suavización exponencial para tubulares x6 mts.

MÉTODO DE SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL TUBULARES X 6 METROS										
Mes	Año	Demand	Pronostico	Error del pronostico	Cuadrado del error	Año	Demand	Pronostico	Error del pronostico	Cuadrado del error
ENERO	2014	18				2014	12	15,59	-3,59	12,90
FEBRERO		12	18,00	-6,00	36,00		10	15,01	-5,01	25,15
MARZO		15	17,04	-2,04	4,15		14	14,21	-0,21	0,04
ABRIL		17	16,71	0,29	0,08		15	14,18	0,82	0,66
MAYO		20	16,76	3,24	10,52		18	14,31	3,69	13,63
JUNIO		15	17,28	-2,28	5,19		11	14,90	-3,90	15,22
JULIO		15	16,91	-1,91	3,65		10	14,27	-4,27	18,27
AGOSTO		16	16,60	-0,60	0,37		12	13,39	-1,39	1,92
SEPTIEMBRE		19	16,51	2,49	6,21		14	13,33	0,67	0,44
OCTUBRE		18	16,91	1,09	1,19		10	13,44	-3,44	11,84
NOVIEMBRE		20	17,08	2,92	8,51		19	12,89	6,11	37,36
ENERO	2015	24	17,55	6,45	41,59	2015	20	13,87	6,13	37,59
FEBRERO		15	18,59	-3,59	12,86		14	14,85	-0,85	0,73
MARZO		11	18,01	-7,01	49,15		11	14,72	-3,72	13,81
ABRIL		12	16,89	-4,89	23,87		18	14,12	3,88	15,06
MAYO		15	16,10	-1,10	1,21		12	14,74	-2,74	7,52
JUNIO		14	16,51	-2,51	6,30		15	14,30	0,70	0,49
JULIO		14	15,62	-1,62	2,61		15	14,41	0,59	0,34
AGOSTO		13	15,36	-2,36	5,55		16	14,51	1,49	2,22
SEPTIEMBRE		11	14,98	-3,98	15,82		11	14,75	-3,75	14,05
OCTUBRE		15	14,54	0,46	0,44		20	14,15	3,85	34,27
NOVIEMBRE		12	14,45	-2,45	5,98		15	15,00	-0,00	0,01
ENERO	2016	16	14,05	1,95	3,79	2016	18	15,07	2,93	8,57
FEBRERO		22	14,37	7,63	58,29		25	15,54	9,46	89,45
ENERO	2018					2018				17,06



Grafica 3. Grafica del método de suavización exponencial para tubulares x6 mts.

Tabla 9. Método de promedio móvil ponderado para bolsas troqueladas 12x16

MÉTODO DE PROMEDIO MÓVIL PONDERADO										
BOLSAS TROQUELADAS										
Mes	Año	Demanda	Promédico	Error del pronostico	Cuadrado del error	Año	Demanda	Promédico	Error del pronostico	Cuadrado del error
Enero	2014	280	200	80	6400	2014	180	180	0	0
Febrero	2014	200	150	50	2500	2014	170	170	0	0
Marzo	2014	130	100	30	900	2014	140	140	0	0
Abril	2014	140	120	20	400	2014	180	180	0	0
Mayo	2014	180	163,50	16,50	272,25	2014	150	129,00	21,00	441,00
Junio	2014	150	162,00	-12,00	144,00	2014	120	132,50	-12,50	156,25
Julio	2014	120	153,50	-33,50	1122,25	2014	100	125,50	-25,50	650,25
Agosto	2014	130	141,50	-11,50	132,25	2014	110	117,00	-7,00	49,00
Septiembre	2014	220	132,00	88,00	7744,00	2014	170	118,00	52,00	2704,00
Octubre	2014	160	168,00	-8,00	64,00	2014	150	138,50	11,50	132,25
Noviembre	2014	190	163,00	27,00	729,00	2014	180	144,00	36,00	1296,00
Diciembre	2014	260	181,50	78,50	6162,25	2014	190	164,50	25,50	650,25
Enero	2015	180	218,50	-38,50	1482,25	2015	240	177,50	62,50	3906,25
Febrero	2015	170	200,00	-30,00	900,00	2015	160	206,50	-46,50	2162,25
Marzo	2015	90	192,50	-102,50	10506,25	2015	115	188,00	-73,00	5329,00
Abril	2015	130	145,00	-15,00	225,00	2015	150	158,75	-8,75	76,56
Mayo	2015	150	133,00	17,00	289,00	2015	180	152,25	27,75	770,06
Junio	2015	140	135,00	5,00	25,00	2015	110	177,50	-67,50	4556,25
Julio	2015	110	135,50	-25,50	650,25	2015	160	136,00	24,00	576,00
Agosto	2015	90	127,50	-37,50	1406,25	2015	100	150,50	-50,50	2550,25
Septiembre	2015	200	111,00	89,00	7921,00	2015	180	125,00	55,00	3025,00
Octubre	2015	130	148,50	-18,50	342,25	2015	140	149,00	-9,00	81,00
Noviembre	2015	185	137,50	47,50	2256,25	2015	200	144,00	56,00	3136,00
Diciembre	2015	200	164,75	35,25	1242,56	2015	250	171,00	79,00	6241,00
Enero	2016					2016				
Febrero	2016					2016				
Marzo	2016					2016				
Abril	2016					2016				
Mayo	2016					2016				
Junio	2016					2016				
Julio	2016					2016				
Agosto	2016					2016				
Septiembre	2016					2016				
Octubre	2016					2016				
Noviembre	2016					2016				
Diciembre	2016					2016				
Enero	2017					2017				
Febrero	2017					2017				
Marzo	2017					2017				
Abril	2017					2017				
Mayo	2017					2017				
Junio	2017					2017				
Julio	2017					2017				
Agosto	2017					2017				
Septiembre	2017					2017				
Octubre	2017					2017				
Noviembre	2017					2017				
Diciembre	2017					2017				
Enero	2018					2018				
Febrero	2018					2018				
Marzo	2018					2018				
Abril	2018					2018				
Mayo	2018					2018				
Junio	2018					2018				
Julio	2018					2018				
Agosto	2018					2018				
Septiembre	2018					2018				
Octubre	2018					2018				
Noviembre	2018					2018				
Diciembre	2018					2018				

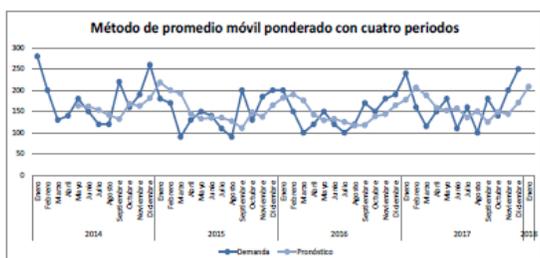


Figura 4. Grafica del método de promedio móvil ponderado con 4 periodos para bolsas troqueladas 12x16

Tabla 10. Errores absolutos para cada producto

Año	Mes	Platos No. 20		Tubulares		Bolsas troqueladas	
		EA para pronostico	EA para datos historicos	EA para pronostico	EA para datos historicos	EA para pronostico	EA para datos historicos
2014	Enero		522,98		2,71		126,42
	Febrero		293,02		6,00		3,29
	Marzo		677,02		2,04		0,29
	Abril	343,20	77,02		0,29	1,71	16,50
	Mayo	152,40	77,02		3,24	4,71	20,42
	Junio	30,00	197,02		2,28	0,29	12,00
	Julio	522,00	677,02		1,91	0,29	33,50
	Agosto	1.014,00	522,98		0,60	0,71	21,50
	Septiembre	108,00	66,98		2,49	3,71	88,00
	Octubre	3,60	42,98		1,09	2,71	8,00
	Noviembre	883,20	1.002,98		2,92	4,71	27,00
	Diciembre	92,40	762,98		6,45	8,71	78,50
2015	Enero	660,00	42,98	3,59	0,29	38,50	30,42
	Febrero	648,00	317,02	7,01	4,29	30,00	10,42
	Marzo	934,00	1.017,02	4,89	3,29	102,50	69,58
	Abril	449,00	269,02	1,10	0,29	15,00	28,58
	Mayo	148,80	277,02	1,92	1,29	17,00	9,58
	Junio	26,60	413,02	1,62	1,29	5,00	19,58
	Julio	408,80	773,02	2,36	2,29	25,50	49,58
	Agosto	1.029,60	402,98	3,98	4,29	37,50	69,58
	Septiembre	22,40	232,98	0,66	0,29	89,00	40,42
	Octubre	93,40	72,98	2,45	3,29	18,50	29,58
	Noviembre	645,50	757,98	1,95	0,71	47,50	25,42
	Diciembre	58,25	568,98	7,63	6,71	35,25	40,42
2016	Enero	609,40	77,02	3,59	3,29	17,75	40,42
	Febrero	734,45	557,02	5,01	5,29	40,00	9,58
	Marzo	484,90	777,02	0,21	1,29	76,00	59,58
	Abril	551,00	77,02	0,82	0,29	22,50	39,58
	Mayo	20,00	269,02	3,69	2,71	21,00	9,58
	Junio	255,20	562,02	3,90	4,29	12,50	39,58
	Julio	346,85	677,02	4,27	5,29	25,50	59,58
	Agosto	1.115,80	522,98	1,59	3,29	3,00	39,58
	Septiembre	77,25	42,98	0,67	1,29	52,00	10,42
	Octubre	106,00	136,98	3,44	5,29	11,50	9,58
	Noviembre	561,90	737,98	6,11	3,71	36,00	20,42
	Diciembre	899,45	1.402,98	6,13	4,71	25,50	30,42
2017	Enero	810,10	282,98	0,85	1,29	62,50	80,42
	Febrero	896,25	317,02	3,72	4,29	46,50	0,42
	Marzo	1.031,00	967,02	3,88	2,71	73,00	44,58
	Abril	332,50	317,02	2,74	3,29	8,75	9,58
	Mayo	370,00	77,02	0,70	0,29	27,75	20,42
	Junio	183,45	442,02	0,59	0,29	47,50	49,58
	Julio	206,75	557,02	1,49	0,71	34,00	0,42
	Agosto	745,00	282,98	3,75	4,29	50,50	59,58
	Septiembre	156,75	162,98	5,85	4,71	55,00	20,42
	Octubre	86,00	7,02	0,09	0,29	9,00	19,58
	Noviembre	692,50	762,98	2,93	2,71	56,00	40,42
	Diciembre	1.079,00	1.597,98	9,46	9,71	79,00	90,42

Atendiendo los valores comúnmente utilizados en los textos estadísticos, el nivel de significancia utilizado para el cálculo del stock de seguridad fue del 5%.

Tabla 12. Modelo EOQ probabilizado mensual

MODELO EOQ PROBABILIZADO MENSUAL				
Entrada de datos				
Productos	Platos No.20	Tubulares	Bolsas troqueladas	
Tasa de demanda (D) unidades/mes	4.267	17	209	
Costo por colocación de pedido (K)	\$ 1.200	\$ 4.000	\$ 10.000	
Costo de almacenamiento (h) por unidad por mes	\$ 60,14	\$ 3.110,23	\$ 103,54	
Tiempo de espera entre colocación y recepción de pedido (L)	0,26	0,26	0,26	
Desviación estándar (σ)	561,10	3,59	45,02	
Nivel de significancia (α)	0,05	0,05	0,05	
Salida de datos del modelo				
Productos	Platos No.20	Tubulares	Bolsas troqueladas	
Cantidad económica de pedido (q*) unidades	413	7	201	
Ciclo de pedido (t*) en días	0,10	0,39	0,96	
z	2	0	0	
Tiempo de espera efectivo (L _a)	0,06	0,26	0,26	
Demanda promedio durante el tiempo de espera (μ _L)	275,85	4,39	53,94	
Desviación estándar de la demanda (σ _L)	142,67	1,82	22,87	
Estimación de reserva (R)	234,66	3,00	37,62	
Punto de volver a pedir (L _o)	511	7	92	
Costo de inventario asociado a la política (TCU)	\$ 38.929,66	\$ 29.896,68	\$ 24.692,76	

Conclusiones

Se empleó un modelo EOQ Probabilizado, la política de inventario sugiere pedir 413 paquetes de platos No.20 siempre que el inventario se reduzca a 511 paquetes, con un costo asociado de \$38.929,66 mensual. Para tubulares x6 mts 7 rollos siempre que el inventario se reduzca a 7 rollos, con un costo asociado de \$29.896,68 mensual. Para bolsas troqueladas 12x16, 201 paquetes siempre que el inventario se reduzca a 92 paquetes, con un costo asociado de \$24.692,76 mensual.

Se calcularon y compararon las alternativas descritas por Marco Arias Vargas en [24 -28] para el cálculo de las desviaciones estándar y los resultados manifiestan que en algunos casos, la medida de dispersión obtenida de los errores absolutos del pronóstico no es la óptima; esto evidencia que, aunque esta medida es una muy buena alternativa a considerar, la desviación estándar o la desviación estándar con MAD de datos históricos pueden brindar mejores resultados en cuanto a la minimización de costos de almacenamiento de unidades de reserva se refiere.

Utilizando un nivel de significancia del 5% para el cálculo del stock de seguridad se garantiza un nivel de servicio del 95%, dicho de otra manera, con el nivel de servicio establecido se asegura que de 100 personas que se acerquen a la tienda a comprar el producto, se tendrá la disponibilidad para 95 de estas, lo cual garantiza a su vez, mayores ingresos para la organización.

Referencias

- [1] I. Pérez Vergara, C. Vásquez García , A. M. Cifuentes Laguna y D. M. Ocampo, «Un modelo de gestión de inventarios para una empresa de productos alimenticios,» *SciELO*, vol. 34, n° 2, pp. 227-236, 2013.
- [2] H. Taha, *Investigación de operaciones*, Mexico : Pearson , 2012.
- [3] A. Pulido Rojano , A. Villanueva Polanco, E. Orozco Acosta y Á. Sierra Altamiranda, «Modelo matemático para la minimización de la escasez de inventarios en cadenas de suministro inestables,» de IV Encuentro Iberoamericano de Investigación Operativa y Ciencias Administrativas - IOCA, Santa Cruz de la Sierra- Bolivia, 2013.
- [4] A. Pulido Rojano y J. Daza Escorcía , «Modelo matemático para el análisis de decisiones de niveles de inventario minimizando el costo de mantenimiento,» de The Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference – LACCEI, Medellin- Colombia, 2011.
- [5] A. Pulido Rojano y J. Daza Escorcía, «Modelo matemático para el análisis de decisiones de niveles de inventario con restricciones reales,» de II Congreso Peruano de Investigación de Operaciones y de Sistemas - COPIOS, Perú, 2010.
- [6] D. Anderson, D. Sweeney, T. Williams, J. Camm y K. Martin, *Métodos cuantitativos para los negocios*, Cengage Learning, 2011.
- [7] M. D. C. Torres Salazar y P. García Mancera, «Administración de inventarios un desafío para las PYMES,» *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, vol. 13, n° 29, pp. 31-38, 2017.
- [8] Y. Zhang , G. Hua, S. Wang, J. Zhang y V. Fernandez, «Managing demand uncertainty: Probabilistic selling versus inventory substitution,» *International Journal of Production Economics*, vol. 196, pp. 56-67, 2018.
- [9] A. Pulido Rojano, J. Daza Escorcía y F. Narducci Marin, «Modelo analítico de puntos de reorden con demanda dinámica en el tiempo,» de XIV Congreso latino iberoamericano de investigación de operaciones - CLAIO, Cartagena de Indias, 2008.
- [10] A. Tehseen , . H. N. Amos y B. Sunith , «Multi-Objective Optimization and Analysis of the Inventory Management Model,» *Proceedings of the 2014 Summer Simulation Multiconference*, n° 14, 2000.
- [11] C. A. Goodsell y T. Van Kley, «INVENTORY MANAGEMENT SIMULATIONS AT CAT LOGISTICS,» *Proceedings of the 32nd conference on Winter simulation*, pp. 1185-1190, 2000.
- [12] R. Levi, R. Roundy y D. B. Shmoys, «Primal-Dual Algorithms for Deterministic Inventory,» *Mathematics of operations research*, vol. 31, n° 2, pp. 267 - 284, 2006.
- [13] C. Laroque, R. Pasupathy , J. Himmelspach, O. Rose y A. Uhrmacher , «A SIMULATION-BASED APPROACH TO STATISTICAL INVENTORY MANAGEMENT,» *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, n° 330, 2007.
- [14] A. I. Esparcia-Alcazar, L. Lluch-Revert, K. C. Sharman, M. Cardos y J. Merelo, «Configuring an Evolutionary Tool for the Inventory and Transportation Problem,» de Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO, London, 2007.
- [15] A. Krishnamoorthy, S. S. Nair y V. C. Narayanan, «An Inventory Model with Server Interruptions,» p. 8, 2010.
- [16] S. Kumar y S. Rawat, «E-Inventory for Proactive e-Waste Management,» p. 4, 2013.
- [17] A. Nodari, J. K. Nurminen y C. Frühwirth, «Inventory Theory Applied to Cost Optimization in Cloud,» p. 4, 2016.

- [18] R. Cardulino, P. Y. Alves y K. Valdivia, «System to Solve the Inventory Routing Problem based on Monte Carlo Techniques,» p. 1, 2016.
- [19] M. Reza, K. Behrooz y F. G. Seyyed Mohammad , «Effect of two-echelon trade credit on pricing-inventory policy of non-instantaneous deteriorating products with probabilistic demand and deterioration functions.,» Annals of Operations Research, vol. 257, pp. 237-273, 2017.
- [20] A. A. Taleizadeh, Z. Hamid Reza y S. Bhaba, «An optimal control of inventory under probabilistic replenishment intervals and known price increase,» European Journal of Operational Research, vol. 257, n° 3, pp. 777-791, 2017.
- [21] S. Priyan y R. Uthayakumar, «An integrated production–distribution inventory system involving probabilistic defective and errors in quality inspection under variable setup cost,» International Transactions in Operational Research, vol. 24, n° 6, pp. 1487-1524, 2017.
- [22] J. E. Montemayor Gallejos, Métodos de pronósticos para negocios, Mexico: Editorial digital, 2012.
- [23] D. Anderson, D. Sweeney y T. Williams, Estadística para administración y economía, Mexico: Cengage Learning Editores, S.A, 2008.
- [24] M. A. Vargas, «Impacto en el inventario de seguridad por la utilización de la desviación estándar de los errores de pronóstico,» Tecnología en marcha, vol. 30, n° 1, pp. 49-54, 2017.
- [25] D. Jiménez Sierra and L. Pérez Suescún, "La representación simbólica de la responsabilidad social empresarial (RSE): el Caso Santa Marta", Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 4, no. 2, p. 24, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.4.2.2487>
- [26] B. Londoño González and P. Sánchez, "Algoritmo Novedoso Para la Detección de Tareas Repetitivas en el Teclado", Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 3, no. 2, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.3.2.2031>
- [27] S. Agudelo Ibáñez, & M. Calderón Ortega, Responsabilidad patrimonial del Estado colombiano por actos de reforma constitucional. Justicia, vol. 21, n° 29, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17081/just.21.29.1236>
- [28] J. Carvajal Martínez, & A. Guzman, Economía de mercado y democracia: elementos para una crítica al discurso del desarrollo promovido por las Instituciones Financieras Internacionales. Justicia, vol. 22, n° 31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17081/just.22.31.2602>