



POLÍTICA DE INVENTARIOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN CADENAS DE SUMINISTRO MULTINIVEL. CASO DE ESTUDIO: UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA

MAXIMUM AND MINIMUM INVENTORY POLICY IN MULTI-ECHELON SUPPLY CHAINS. CASE STUDY: A PHARMACEUTICAL DISTRIBUTION COMPANY

J. L. Chamorro Corea, J. E. Díaz Camejo, O. D. Fuentes Espinoza, H. Y. Lovo Gutiérrez

Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Tecnología de la Industria. Managua, Nicaragua.
*chamorro.jc@hotmail.com

(recibido/received: 02-Mayo-2018; aceptado/accepted: 16-11-2018)

RESUMEN

En este trabajo se aborda la evaluación de la política de inventarios máximos y mínimos en cadenas de suministros multinivel. La investigación se realiza con base en la metodología de estudio de caso en una empresa de distribución farmacéutica. Se utiliza el producto con mayor nivel de ventas de la empresa para evaluar la política de inventarios. En este estudio la política de inventarios es evaluada mediante los indicadores de nivel de servicio y rotación de inventarios. Una solución derivada de la teoría es comparada con soluciones óptimas o cercanas a la óptima. Los métodos de optimización incluyen, pero no están limitados a, algoritmos de búsqueda tabú y búsqueda dispersa. Resultados experimentales derivados de las simulaciones de la política de inventarios demuestran que la solución derivada de la teoría garantiza un alto nivel de servicio, pero presenta oportunidades de mejora en términos de la rotación de inventarios.

Palabras claves: Política de inventarios máximos y mínimos; Clasificación ABC-XYZ; Simulación de política de inventario; Optimización de política de inventario; Búsqueda tabú; Búsqueda dispersa.

ABSTRACT

This research addresses the evaluation of the Min-Max inventory policy for serial supply chains. The study is conducted as a case study in a pharmaceutical distribution enterprise. The inventory policy is tested over the best-selling product of said company. In this study, the inventory policy is evaluated in terms of service level and inventory turn-over. A solution approach from the literature is compared with optimal or near optimal solutions. The optimization methods include, but are not limited to, Tabu Search and Scatter Search algorithms. Experimental results derived from simulations of the inventory policy demonstrate that the solution approach from the literature guarantees a high service level, but presents opportunities of improvement in terms of inventory turn-over.

Keywords: Min-Max inventory policy; ABC-XYZ classification; Inventory Policy Simulation; Inventory policy optimization, Tabú Search, Scatter Search.

1. INTRODUCCIÓN

La administración de los inventarios es una parte fundamental de la planeación estratégica y operativa de las empresas. Algunas de las causas por las cuales las empresas tienen inventarios son las siguientes: (A) la necesidad de inventarios de seguridad para responder rápidamente a las necesidades del mercado; (B) anticipación a los cambios de los niveles de demanda, disponibilidad de materia prima, etc., y; (C) desacoplar las decisiones en sistemas de inventario multinivel (Pyke & Silver, 2001).

El desarrollo de este estudio gira en torno al problema de *una bodega y N puntos de venta*. Este tipo de cadena de suministro es bastante común en empresas de distribución de consumo masivo, donde múltiples proveedores abastecen un centro de distribución, y este distribuye a distintos puntos de venta. Las complicaciones inherentes a este tipo de sistemas obligan a las empresas a diseñar modelos prácticos que garanticen el nivel de servicio en todos los niveles de la cadena de suministros.

Este trabajo se desarrolló bajo un estudio de caso en una empresa distribuidora de productos farmacéuticos. El sistema logístico de la empresa está compuesto por un centro de distribución que abastece a seis sucursales, con una cartera de clientes minoristas y mayoristas, manteniendo un portafolio de más de 2100 productos activos. El propósito central fue analizar el comportamiento de las ventas de los productos, para determinar un sistema de administración de inventarios basado en la política de pedidos estándar máximos y mínimos con un enfoque estadístico. El rendimiento de esta política fue valorado mediante la determinación del nivel de servicio y la rotación de inventarios a través de una simulación en el software Arena®. Los niveles máximos y mínimos se compararon con valores óptimos sugeridos por el paquete de optimización metaheurística OptQuest®. En este trabajo se utilizó la planeación y administración de inventarios con demanda probabilística, usando suavización exponencial simple, suavización ajustada a tendencia y técnicas de regresión como técnicas de pronósticos de ventas, y niveles de servicio diferenciado por clasificación ABC-XYZ.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El universo de este estudio está conformado por el centro de distribución y las seis sucursales de una empresa de distribución farmacéutica, en específico fueron analizados los registros de ventas del producto más vendido, el cual fue utilizado para mostrar la metodología propuesta y comprobar las hipótesis de investigación planteadas en la sección 2.2 de este acápite.

2.1. Marco teórico

Cadena de suministros de una bodega y múltiples puntos de venta: La cadena de suministros se integra dentro de una red de operaciones logísticas de proveedores, fábricas, distribuidores intermedios y finalmente los consumidores. Estas operaciones logísticas se repiten constantemente a lo largo de la cadena, con el fin de dar continuidad a los flujos principales que recorren la red. El sistema de una bodega y múltiples puntos de venta es uno de los tipos más frecuentes de canales de suministro de multinivel. En Ballou (2004, p. 371) se encuentra representado gráficamente este sistema. A la vez, se puede encontrar en Vidal *et al.* (2011) otras referencias a este tipo de cadena de suministros.

Pronóstico de ventas: Para generar un pronóstico de demanda es importante utilizar los datos de venta real de los clientes finales, sin importar desde qué eslabón de la cadena se esté realizando el pronóstico. “Si los datos de consumo de los puntos de venta no están disponibles, se pueden utilizar los datos de distribución del nivel más bajo posible” (USAID, 2011, p. 51). Cuando los proveedores y fábricas en niveles superiores utilizan los datos de distribución a mayoristas y minoristas en niveles inmediatos, en lugar de los datos de venta a clientes finales, se exponen a mantener mayores volúmenes de inventario en todo el canal, esto debido al fenómeno conocido como *efecto látigo*, el cual ocurre por el aumento de la

variabilidad de los pedidos al trasladarse del cliente al productor en la cadena de suministros (Chase & Jacobs, 2013). Arango *et al.* aborda en su trabajo el uso de pronósticos de ventas más precisos para la determinación de políticas de inventarios eficientes. También, Dobrota y Vujosevic (2015) presentan un estudio de caso donde se valida la aplicación del algoritmo de Holt-Winters como una forma para mejorar la administración del inventario en una cadena minorista de alimentos.

Elección de un modelo de pronóstico: La capacidad de un modelo matemático para ajustarse a los datos de una serie de tiempo no debe ser un criterio único de selección de modelo de pronóstico. Gálvez (2016) sugiere un proceso sistemático para la selección de un modelo de pronóstico a través de la división de sus datos de entrada, además de algunas herramientas para comparar la precisión entre distintos modelos.

Sistemas de administración de inventarios: Existen dos indicadores de desempeño importantes para un sistema de administración de inventario, estos son “el nivel de servicio y el inventario promedio” (Bowersox *et al.*, 2007). Las definiciones de dichos indicadores se pueden encontrar en Bowersox *et al.* (2007). El cálculo para estos indicadores se describe en (1), (2) y (3).

$$\text{Nivel de servicio} = 1 - \frac{\text{Unidades faltantes}}{\text{Unidades solicitadas}} \quad (1)$$

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Ventas totales}}{\text{Inventario promedio}} \quad (2)$$

$$\text{Días de cobertura} = \frac{\text{Numero de días por periodo}}{\text{Rotación de inventario}} \quad (3)$$

Schroeder (1992, p. 478) detalla la relación entre el nivel de servicio y el inventario promedio, además afirma que entender dicha relación es importante para mantener una eficiente administración de inventarios.

Clasificación ABC – XYZ: “El sistema de clasificación ABC es un sistema de clasificación de los productos para fijarles un determinado nivel de control de existencias” (Guerrero, 2009, p. 20). Esta clasificación está basada en la Ley de Pareto, la cual dicta que una pequeña parte de los elementos representa un gran porcentaje del volumen. Esta clasificación se obtiene mediante la identificación del 80% acumulado de contribución (tipo A), 15% (tipo B) y 5% (tipo c). (Ver: Errasti, Chackelson, & Santos, 2010)

El análisis XYZ generalmente es utilizado para clasificar los productos según su patrón de demanda. En conjunto con el análisis ABC sirven como herramienta para desarrollar una estrategia de administración de inventarios diferenciada por cada grupo. Esta clasificación también se utiliza para definir modelos de pronóstico a cada grupo.

La clasificación XYZ se puede derivar del cálculo de la desviación estándar de los datos de ventas. Errasti *et al.* (2010) define los productos X como aquellos con ventas regulares, y los productos Z como aquellos con comportamiento irregular, los productos Y se encuentran en el punto medio. Utilizando la desviación estándar se puede calcular el coeficiente de variabilidad de cada producto. De acuerdo a las características descritas por Errasti *et al.* (2010), los productos con bajo coeficiente de variabilidad se pueden clasificar como X, un coeficiente de variabilidad medio (mayor al 30%) como Y, un alto coeficiente de variabilidad (mayor al 60%) se puede clasificar como un producto Z.

Políticas de inventario: Pyke y Silver (2001) sostuvieron que las políticas de control de inventario utilizadas para demanda no-determinística basan sus decisiones en tres variables, estas son: Cada cuánto revisar el nivel de inventario de un producto; Cuándo hacer un pedido; y Cuánto pedir.

Las tres políticas de control de inventario más comunes son: Revisión continua (s, Q), revisión periódica (R, S), Máximos y mínimos (R, s, S). Un estudio de estas políticas se encuentra en Pyke y Silver (2001).

Política de pedidos estándar máximos y mínimos: “Una política de inventarios máximos y mínimos es aquella que garantiza que la posición de las existencias este dentro de un rango establecido” (USAID, 2011, p. 56). Este modelo de máximos y mínimos es útil cuando los costos de revisar y ordenar son muy grandes y evita la colocación de pedidos muy pequeños, pues el inventario es revisado cada R periodos, pero solo se coloca una orden si la posición de inventario está por debajo de un nivel mínimo (Gaither & Frazier, 2000). El sistema de pedidos estándar máximos y mínimos, en teoría, es el más eficiente, pues es una combinación de los sistemas de pedido forzado (revisión periódica) y reabastecimiento continuo (revisión continua) y, por tanto, comparte las ventajas de ambas políticas. Sin embargo, también comparte sus desventajas (USAID, 2011).

La regla de decisión es que la posición del inventario es revisada periódicamente y la orden es puesta únicamente si el inventario está por debajo del nivel mínimo. USAID (2011) también sugirió utilizar un punto de pedido de emergencia, pues en raras ocasiones el inventario puede caer a niveles muy bajos antes de llegar al siguiente ciclo de abastecimiento. Este enfoque pragmático es utilizado para evitar faltantes y poder tener menores niveles de existencia de seguridad (Gaither & Frazier, 2000).

En este trabajo se incorpora la desviación estándar para representar la variabilidad de la demanda, optimizando el cálculo del inventario de seguridad en esta política, debido a que “la política de máximos y mínimos es un híbrido entre los sistemas de revisión periódica y de revisión continua, las reglas de decisión de ambas políticas son utilizadas” (Schroeder, 1992, pág. 476). Por lo tanto, se puede utilizar la fórmula de inventario de seguridad de la política de revisión periódica (4) la cual considera la desviación estándar de la demanda.

$$SS=Z\sigma\sqrt{R+LT} \quad (4)$$

Donde:

Z = Valor Z de la distribución normal
 σ = Desviación estándar de la demanda
 LT = Tiempo de entrega

Las reglas de decisión de la política de pedidos estándar máximo y mínimo propuesta por USAID (2011) con un enfoque estadístico están basadas en las formulas (5), (6) y (7):

$$s=D(R+LT)+SS \quad (5)$$

$$S=(D \times R)+s \quad (6)$$

$$PPE=D \times LT_{\text{emergencia}} \quad (7)$$

Donde:

s = Nivel mínimo
 S = Nivel máximo
 PPE = Punto de pedido de emergencia
 $LT_{\text{emergencia}}$ = Tiempo de entrega de emergencia

Ventajas y desventajas de las políticas de inventario: La decisión de qué política de inventario implementar está en dependencia de las características propias de cada operación logística. Para esto, la Tabla 1 presenta un compendio de ventajas y desventajas de la política de máximos y mínimos propuesta por USAID (2011).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las políticas de inventario

Política	Ventajas	Desventajas
Máximos y mínimos	- Muy útil en el abastecimiento de portafolios con cientos de productos.	- Más inventario que las políticas de revisión continua y periódica
	- Permite la planificación del transporte y la distribución.	
	-No se generan pedidos pequeños, pues el inventario está en el nivel mínimo. - Permite consolidación de pedidos.	- Requiere más capacidad de almacenamiento que las demás políticas.

Fuente: (USAID, 2011; Schroeder, 1992)

Otras ventajas y desventajas de las políticas de inventario estudiadas se pueden ver en Krajewski, Ritzman, & Malhotra (2008, pp. 488-489).

Simulación de Monte Carlo: El método de Monte Carlo es una herramienta de simulación utilizada cuando un sistema contiene elementos aleatorios en su comportamiento. Este consiste básicamente en la experimentación sobre elementos probabilísticos mediante un muestreo aleatorio (Heizer & Render, 2017). Heizer y Render (2017) describen el proceso para llevar a cabo una simulación de Monte Carlo.

Análisis de datos de entrada para el modelo de simulación: Antes de diseñar un modelo de simulación en un software de simulación como Arena®, se debe determinar la lógica y los parámetros matemáticos necesarios para que dicho modelo arroje los resultados esperados. En Kelton *et al.* (2008) se define el proceso de modelación estructural y modelación cuantitativa para el diseño de modelos de simulación en Arena®.

Optimización del modelo de simulación: Un modelo de simulación diseñado en Arena® puede encontrar un escenario óptimo mediante la herramienta OptQuest®. De acuerdo a Kelton *et al.* (2008), dicho paquete de optimización utiliza técnicas de metaheurística como búsqueda tabú y búsqueda dispersa, entre otras. Los métodos heurísticos ofrecen una buena solución, pero no necesariamente un óptimo. Pues este generalmente es difícil de encontrar según las características del problema, los recursos invertidos y la calidad esperada de la solución.

2.2. Planteamiento de hipótesis

En este estudio se trabajó con tres hipótesis para un alcance descriptivo. Las hipótesis son:

H1: La propuesta de política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos garantiza un nivel de servicio mínimo del 98%.

H2: La propuesta de política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos en las sucursales origina aproximadamente cinco días de cobertura de inventario.

H3: La propuesta de política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos en el centro de distribución origina aproximadamente 27 días de cobertura de inventario.

2.3. Metodología desarrollada en la investigación

Para cumplir con los objetivos de este estudio se utilizó la metodología propuesta en la figura 1. Esta metodología fue replicada individualmente para el centro de distribución y cada de una de las seis sucursales.

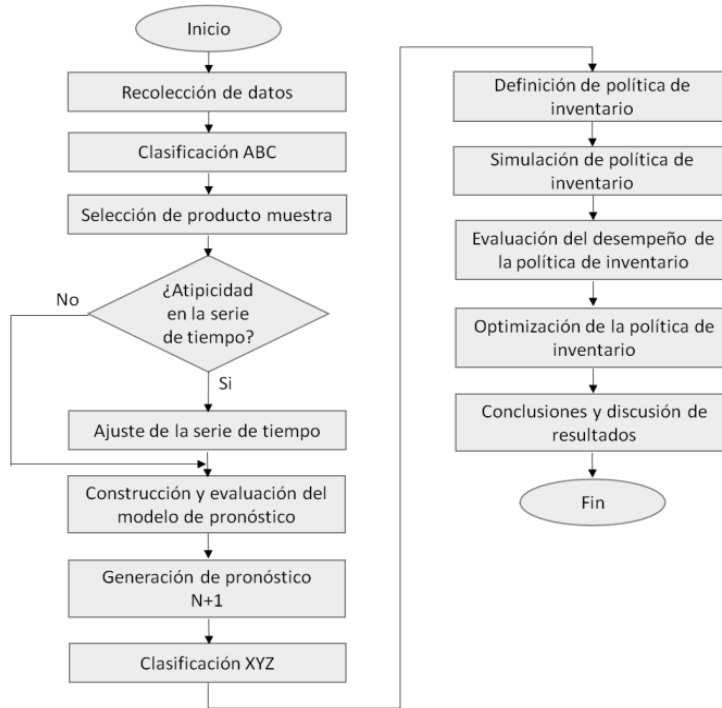


Figura 1. Metodología utilizada en la investigación
Fuente: elaboración propia

3. REPORTE DE RESULTADOS

3.1. Clasificación ABC y selección de muestra de análisis

Se clasificó por el método de ABC el portafolio de productos activos de la empresa, con un total de 2169 ítems. La agrupación de productos está regida por la contribución acumulada de cada uno de ellos, para este procedimiento se trabajó con las ventas totales de la empresa en unidades en un periodo de 12 meses. En la tabla 2 se presenta el resumen de resultados:

Tabla 2. Resumen de clasificación ABC

Clasificación	Artículos	Porcentaje del total	Contribución a las ventas
A	511	24%	80%
B	615	28%	15%
C	1043	48%	5%

Fuente: elaboración propia

Se seleccionó como unidad de análisis el producto de mayor importancia a nivel global de la empresa bajo el criterio de ventas en unidades.

3.2. Determinación del pronóstico de ventas

Los modelos de pronóstico fueron elegidos individualmente para cada sucursal, tomando como factor de selección la precisión del pronóstico (FA) de cada modelo con respecto a la demanda real. Utilizando el paquete estadístico Minitab, se aplicaron tres métodos para cada sucursal. Habiendo escogido el modelo

con menor error de precisión se procedió a generar el pronóstico para el periodo 25, el cual representa a enero 2018. En la tabla 3 se muestra el resumen por sucursal:

Tabla 3. Pronósticos de ventas en sucursales para enero 2018

Sucursal	Método de pronostico	Precisión de pronostico	Pronóstico para t=25
S1	Suavización exponencial simple	94.59%	4655
S2	Suavización exponencial ajustado a tendencia	94.91%	4018
S3	Regresión potencial	89.27%	2755
S4	Suavización exponencial ajustado a tendencia	93.45%	3031
S5	Regresión potencial	89.60%	1968
S6	Regresión potencial	90.82%	3642
CEDIS	Agregación de los pronósticos de sucursal	94.41%	20069

Fuente: elaboración propia

3.3. Política de administración de inventarios

El sistema utilizado en la empresa es un sistema de asignación, por lo tanto, el inventario es vigilado por el centro de distribución y solo este libera las órdenes de pedido. La tabla 4 muestra los parámetros logísticos necesarios para la definición de la política de inventario. El tiempo de entrega para los productos que se encuentran debajo del punto de emergencia es considerablemente menor que el tiempo de entrega regular.

Tabla 4. Parámetros logísticos del sistema de abastecimiento

Parámetro	Sucursal	CEDIS
	Duración (días)	Duración (días)
Periodo de revisión	2	12
Tiempo de entrega regular	1	3
Tiempo de entrega de emergencia	0.5	-

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Clasificación XYZ y fijación del nivel de servicio

	Promedio	σ	Coefficiente de variabilidad	Tipo ABC-XYZ	Nivel de servicio
Sucursal 1	4023.833	327.244	8.1 %	A-X	98%
Sucursal 2	3517.458	310.158	8.8 %	A-X	98%
Sucursal 3	2735.792	408.338	14.9 %	A-X	98%
Sucursal 4	2527.208	273.236	10.8 %	A-X	98%
Sucursal 5	1685.917	199.987	11.9 %	A-X	98%
Sucursal 6	3014.833	609.461	20.2 %	A-X	98%
CEDIS	18275.417	1320.083	7.2%	A-X	98%

Fuente: elaboración propia

El coeficiente de variabilidad fue utilizado para clasificar el producto muestra dentro de la escala XYZ según el comportamiento de su demanda. El nivel de servicio sugerido para un producto AX es de 98%. Utilizando los datos de la serie de tiempo, los resultados se resumen en la tabla 5.

La política de pedidos estándar máximos y mínimos desarrollada en este trabajo requiere de la determinación de cuatro niveles fundamentales para su funcionamiento. Estos son: nivel máximo, nivel

mínimo, inventario de seguridad y punto de pedido de emergencia. Los resultados para cada locación de la cadena de suministros se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Política de pedidos estándar máximos y mínimos por sucursal

	SS	s	S	PPE
Sucursal 1	228	765	1123	90
Sucursal 2	216	681	991	78
Sucursal 3	285	603	815	53
Sucursal 4	191	542	776	59
Sucursal 5	140	368	520	38
Sucursal 6	425	845	1125	70
CEDIS	2060	13640	22904	-

Fuente: elaboración propia

3.4. Evaluación del desempeño de la política de administración de inventarios

Ajuste de los datos de entrada al modelo de simulación: Se utilizó el input analyzer de Arena® para comprobar el ajuste de los datos a distribuciones teóricas. Analizando los históricos de venta diaria del año 2017 (300 datos) para cada sucursal. Para observar a detalle la obtención de estos datos favor referirse a Chamorro, J., Díaz, J. (2018).

Simulación de la política de inventarios: Se decidió simular un año de operación para el sistema de inventario (312 días hábiles). El software Arena® evaluó 2000 posibles escenarios para un año de operación. Se muestra en la tabla 7 el desempeño de la política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos de acuerdo a los indicadores de nivel de servicio y rotación de inventarios.

El modelo estructural diseñado para simular la operación de la política de inventarios se muestra en la figura 2.

Tabla 7. Resultados de simulación con valores sugeridos por la política máximos y mínimos

Sucursal	Faltante total	Inventario promedio	Demanda total	Nivel de servicio	Rotación anual de inventario	Días de cobertura
S1	29.626	850.96	27746.27	99.89%	32.6	10
S2	0.1793	756.05	24309.88	100.00%	32.2	10
S3	8.0414	634.02	19235.71	99.96%	30.3	10
S4	2.7795	601.82	17873.07	99.98%	29.7	11
S5	0.8484	408.61	10432.99	99.99%	25.5	12
S6	8.3863	899.77	23769.55	99.96%	26.4	12
CEDIS	0	14671.23	114314.76	100.00%	7.8	40

Fuente: elaboración propia

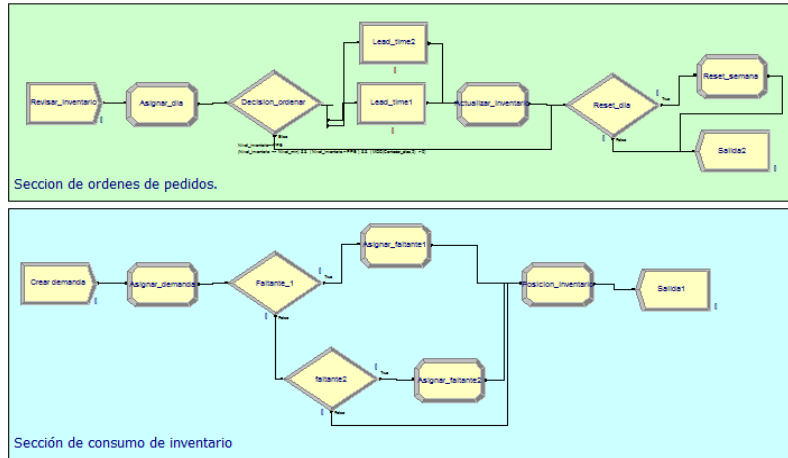


Figura 2. Diseño estructural del modelo simulado en Arena®
Fuente: elaboración propia

Optimización de la política de inventario: Este software utiliza la estructura del modelo de simulación de Arena® para acotar un espacio de búsqueda y seleccionar una solución entre distintas combinaciones para las variables de tal forma que alcance la función objetivo y se cumplan las restricciones propuestas.

El modelo de optimización utilizado se basó en la estructura que se muestra a continuación:

Función objetivo	Min (faltante total + inventario promedio)	
Sujeto a	Inventario mínimo < inventario máximo	(1)
	PPE <= (Demanda diaria x Tiempo de entrega de emergencia)	(2)
	Inventario mínimo ≥ 1	(3)
	Inventario máximo ≥ 1	(4)
	PPE ≥ 1	(5)
	Faltante total ≥ 0	(6)
	Inventario promedio ≥ 0	(7)

En la tabla 8 aparecen los valores optimizados por OptQuest® para las sucursales y el CEDIS:

Tabla 8. Valores óptimos para la política de inventarios

	Inventario máximo	Inventario mínimo	PPE
Sucursal 1	932	783	90
Sucursal 2	744	589	59
Sucursal 3	650	562	42
Sucursal 4	592	489	58
Sucursal 5	450	328	36
Sucursal 6	900	752	63
CEDIS	18550	9927	-

Fuente: elaboración propia

En la tabla 9 se muestran los resultados de la simulación con 2000 réplicas de la política de inventarios optimizada con metaheurística mediante la herramienta OptQuest®.

Tabla 9. Resultados de simulación con valores optimizados por meta heurística

Sucursal	Faltante total	Inventario promedio	Demanda total	Nivel de servicio	Rotación anual de inventario	Días de cobertura
S1	52.6887	751.3	27746.27	99.81%	36.9	8
S2	32.7234	573.05	24309.88	99.87%	42.4	7
S3	24.1132	540.98	19235.71	99.87%	35.6	9
S4	25.6457	479.77	17873.07	99.86%	37.3	8
S5	5.2171	350.44	10432.99	99.95%	29.8	10
S6	39.1218	724.79	23769.55	99.84%	32.8	10
CEDIS	249.74	10410.98	114314.76	99.78%	11	28

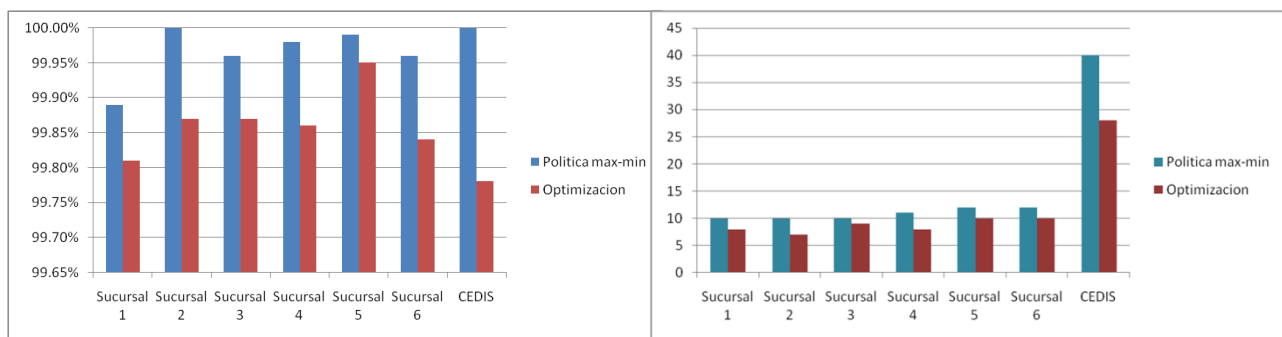
Fuente: elaboración propia

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La política de pedidos estándar máximos y mínimos propuesta por USAID (2011) fue puesta a prueba en una cadena de suministros multinivel, donde el sistema de una bodega y seis puntos de venta agregan complicaciones no consideradas en los modelos de inventario óptimos (Vidal *et al.*, 2011).

Los resultados concernientes al desempeño del nivel de servicio de la política de pedidos estándar máximos y mínimos se muestran en la figura 3a. Se apoya la hipótesis H_1 planteada al inicio de este documento, pues los niveles de servicio obtenidos en la simulación para esta política son mayores al 99. Estos datos indican que la política de pedidos estándar máximos y mínimos puede ser utilizada en un sistema de una bodega y N puntos de venta asegurando un nivel de servicio real igual o superior al nivel de servicio teórico definido por la gerencia al momento de calcular el inventario de seguridad.

En cuanto a los inventarios de seguridad, en este estudio se utilizó un inventario de seguridad incorporando la desviación estándar de la demanda (4). En relación a esto, en el trabajo realizado por Vidal *et al.* (2011), éste afirma que es un error definir inventarios de seguridad proporcionalmente a su demanda promedio.



(a)

(b)

Figura 3. Comparación entre la política de máximos y mínimos con la obtenida mediante optimización metaheurística. (a) Comparación de nivel de servicio (b) Comparación de días de cobertura de inventario

Fuente: elaboración propia

La hipótesis H_2 se rechaza, pues los días de cobertura arrojados por la simulación exceden al 100% los propuestos en esta hipótesis. La hipótesis H_3 también se rechaza, pues la simulación arroja un resultado que excede en un 48% el propuesto en dicha hipótesis. Los días de cobertura derivados del índice de

rotación de inventario se muestran en la figura 3b. Mediante el rechazo de estas hipótesis, se confirma lo mencionado por USAID (2011) que la política de pedidos estándar máximos y mínimos resulta en altos niveles de inventario.

Referente a la optimización meta heurística desarrollada, se lograron mejores índices de rotación con una reducción en el nivel de servicio de tan solo unas décimas. Sin embargo, en algunos casos el nivel máximo propuesto por las técnicas meta-heurísticas tiende a converger al nivel mínimo. Esto puede sugerir puntos fuera del espacio de búsqueda factible (fuera de la política de máximos y mínimos) donde la función objetivo se beneficie de igualar el nivel mínimo y el nivel máximo.

Una limitación importante de este estudio es que no se puede obtener el valor de nivel de servicio en el sistema real, impidiendo la comparación entre el modelo de simulación y el sistema en el mundo real. Este estudio sobre la aplicación de la política de pedidos estándar máximos y mínimos con un enfoque estadístico puede abrir pasos a otras investigaciones en el campo de la administración de inventarios. Se sugiere para investigaciones futuras comparar el rendimiento de esta política con un enfoque no estadístico, tal y como lo sugiere originalmente USAID (2011). Por otro lado, se pueden utilizar técnicas de pronósticos auto regresivos para mejorar la predicción de demanda. Complementariamente, un análisis a fondo sobre el equilibrio entre nivel de servicio y rotación de inventario utilizando esta política podría derivar en aplicaciones prácticas en la industria, tal y como lo sugiere Schroeder (1992).

5. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo ha consistido en la propuesta de un modelo de reabastecimiento de inventario que permita crear condiciones flexibles de abasto. Para tal fin el modelo propuesto fue la política de inventario de pedidos estándar máximos y mínimos, la cual fue sometida a controles de optimización para valorar su rendimiento y resultados.

De acuerdo a la metodología de investigación planteada se concluye:

Se pronosticaron las ventas del producto muestra para todas las sucursales y el centro de distribución. En las sucursales se logró obtener en promedio una precisión de pronóstico del 92.11%. El rendimiento del pronóstico del CEDIS fue de 94.41% de precisión.

Para el cálculo de los niveles de inventario se usó la técnica de clasificación ABC-XYZ para diferenciar los niveles de servicio. También se utilizó un enfoque estadístico incorporando la desviación estándar en la determinación del inventario de seguridad (Schroeder, 1992; Vidal *et al.*, 2011) para la política de pedidos estándar máximos y mínimos sugerida por USAID (2011).

Se simuló la política de pedidos estándar máximos y mínimos utilizando el software Arena®. Se validaron las distribuciones de probabilidad de demanda utilizando las pruebas de bondad de ajuste chi - cuadrado y Kolmogorov - Smirnov con el uso del software Input analyzer (Chamorro, J., Díaz, J., 2018). Se optimizaron los niveles de inventario de la política propuesta utilizando la técnica búsqueda tabú y búsqueda dispersa empleadas por el software de optimización OptQuest® para comparar su desempeño con la política propuesta.

A la luz de los resultados obtenidos se concluye que la política de pedidos estándar máximos y mínimos garantiza un alto nivel de servicio, aceptando la primera hipótesis planteada en este documento. En cambio, se rechazó la segunda y tercera hipótesis de investigación, comprobando lo mencionado por USAID (2011), que esta política ocasiona altos niveles de inventario, aminorando la eficiencia en la rotación de estos. En el acápite de discusión de resultados se expusieron las limitaciones vigentes en este estudio y se abrieron posibles líneas de investigación en el tema.

REFERENCIAS

- Arango, J., Castrillón, O., & Giraldo, J. (s.f.). Modelo de gestión de compras basado en Inventarios por Demanda según Nivel de Servicio a partir de Pronósticos de Venta. 1-6.
- Ballou, R. (2004). Logística administración de la cadena de suministro. Quinta edición. México, D.F.: Pearson Prentice Hall.
- Bowersox, D., Closs, D., & Cooper, M. (2007). Administración y logística en la cadena de suministros. Segunda edición. México, D.F.: McGraw Hill / Interamericana Editores S.A. De C.V.
- Chamorro, J., Díaz, J. (2018). Propuesta de un sistema de administración de inventarios en la empresa distribuidora de medicamentos Los Paisas S.A.. Tesis de Grado de ingeniería. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Chase, R., & Jacobs, R. (2013). Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro. Bogotá: McGrawHill .
- Dobrota, M., & Vujosevic, M. (2015). Forecasting and inventory performance in direct-store delivery supply chain: case of retailer in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(1), 9-16.
- Errasti, A., Chackelson, C., & Santos, J. (2010). Sistema experto de mejora de la gestión de inventarios soportado en métodos de previsión de demanda: Estudio de caso. 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. XIV Congreso de Ingeniería de Organización, (1830-1838). Donostia-San Sebastián .
- Gaither, N., & Frazier, G. (2000). Administración de producción y operaciones. Octava edición. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Gálvez, T. (2016). ¿Cómo medir la precisión de los pronósticos? Aprende todo sobre pronósticos.
- Guerrero, H. (2009). Inventarios. Manejo y control. Bogotá, D.C.: ECOE ediciones.
- Heizer, J., & Render, B. (2017). Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones tácticas. Nueva Jersey, Estados Unidos: Pearson Prentice Hall.
- Kelton, W., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2008). Realización de estudios de simulación. En W. Kelton, R. Sadowski, & D. Sturrock, *Simulación con Software Arena*. Cuarta edición (535-553). México, D.F.: McGraw Hill.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). Administración de operaciones procesos y cadenas de valor. Octava edición. México, D.F.: Pearson Educación.
- Pyke, D., & Silver, E. (2001). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Boston: John Wiley and Sons.
- Schroeder, R. (1992). Administración de operaciones: toma de decisiones en la función de operaciones. Tercera edición . México, D.F.: McGraw Hill.

USAID. (2011). Manual de logística. Guía práctica para la gerencia de cadenas de suministros de productos de salud. Segunda edición. Arlington, Va: USAID - PROYECTO DELIVER, Orden de Trabajo 1.

Vidal, J., Londoño, J., & Contreras, F. (2011). Aplicación de los Modelos de Inventarios en una Cadena de Abastecimiento de Productos de Consumo Masivo con una Bodega y N Puntos de Venta. Universidad del Valle (Colombia), 6 (1), 35-52

SEMBLANZA DE LOS AUTORES



Jorge L. Chamorro Corea: Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua. Ha realizado distintos cursos especializados en temas de diseño de cadena de suministros, planeación de la demanda y diseño de distribución de planta. Ha participado en el proyecto de implementación de un sistema de administración de inventarios y planeación de demanda para empresa de distribución farmacéutica con un portafolio de miles de productos.



José E. Díaz Camejo: Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua. Ha realizado distintos cursos especializados en temas de logística integral y cadena de suministros, planeación de la demanda y reaprovisionamiento, diseño eficiente de Layout, entre otros. Ha participado en los proyectos del diseño de un nuevo centro de distribución e implementación de un sistema de administración de inventarios en una empresa distribuidora de medicamentos.



Oscar D. Fuentes Espinoza: Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua, donde actualmente es profesor titular e investigador en temas de gestión por procesos y planificación de la producción. Realizó estudios de maestría en administración de empresas en la Universidad Nacional de Ingeniería y actualmente es aspirante a PhD en ciencias de la educación. Tiene experiencia como consultor en empresas del sector privado y gestión universitaria como director de posgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería.



Horacio Y. Lovo Gutiérrez: Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua. Realizó estudios de maestría en ingeniería industrial con enfoque en inteligencia artificial y optimización de procesos en Yuan Ze University, Taiwán. Tiene experiencia como analista en investigación y desarrollo en MDB Capital Group y director de Millennium. Ha trabajado como consultor para empresas del sector privado y docencia en temas de transporte y distribución, e inteligencia artificial aplicada a problemas de la cadena de suministros.