

Optimización de inventarios aplicando Investigación de Operaciones

Flores Tapia, Carlos Ernesto
Flores Cevallos, Karla Lissete

Optimización de inventarios aplicando Investigación de Operaciones

RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática, vol. 12, núm. 34, pp. 1-15, 2023

Universidad Autónoma del Estado de México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=637974848003>

Esta obra se encuentra protegida por una Licencia de Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 internacional



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Optimización de inventarios aplicando Investigación de Operaciones

Carlos Ernesto Flores Tapia
Pontificia Universidad Católica, Ecuador
florestapiacarlos@yahoo.com
Karla Lisete Flores Cevallos
Fundación Los Andes, Ecuador

RECAI Revista de Estudios en
Contaduría, Administración e
Infomática, vol. 12, núm. 34, pp. 1-15,
2023

Universidad Autónoma del Estado de
México

Recepción: 12 Septiembre 2022
Aprobación: 18 Marzo 2023

Resumen: Uno de los problemas más frecuentes a los que se enfrentan las empresas es la gestión de inventarios, ya sea porque no se cuenta con información suficiente o porque no se aplican técnicas de investigación de operaciones favorables a la toma de decisiones que redundan en la calidad administrativa y en la rentabilidad de la empresa. En consecuencia, el objetivo del presente artículo fue identificar el sistema óptimo de inventarios, aplicando técnicas de Investigación de Operaciones, que contribuyan a la reducción de costos y al incremento de la rentabilidad en la empresa ecuatoriana, objeto de estudio. Se realizó una investigación cuantitativa explicativa para calcular en dos productos seleccionados la cantidad óptima de pedido, las existencias de seguridad y los costos totales anuales para los sistemas de inventario Q –tiempo de pedido fijo a intervalo variable- y P – tiempo de pedido variable a intervalo fijo-, considerando las seis alternativas posibles combinadas de demanda y tiempo de anticipación –ya sea constante o variable-. El estudio concluyó que, efectivamente, existen diferencias en la cantidad económica de pedido, en las existencias de seguridad y en los costos en la gestión de inventarios de los productos, según sea el sistema de inventarios utilizado por la empresa.

Palabras clave: Investigación de operaciones, Sistemas de Inventarios, Cantidad económica de pedido, Gestión empresarial.

Abstract: One of the most frequent problems that companies face is inventory management, either because there is not enough information or because operations research techniques that are favorable to decision making that result in administrative quality are not applied. and the profitability of the company. Consequently, the objective was to identify the optimal inventory system, applying Operations Research techniques, which contributes to reducing costs and increasing profitability in the Ecuadorian company under study. Explanatory quantitative research was carried out on two selected products, the optimal order quantity, safety stocks and total annual costs are calculated for the inventory systems Q –fixed order time at variable interval- and P –variable order time at fixed interval-, considering the six possible alternatives combined demand and anticipation time –whether constant or variable-. The study concludes that, indeed, there are differences in the economic order quantity, in safety stocks and in the costs of product inventory management, depending on the inventory system used by the company.

Keywords: Operations research, inventory systems, economic order quantity, business management..

Introducción

Los modelos de inventarios son métodos que ayudan a reducir o minimizar los niveles de inventario requeridos en las empresas. La necesidad de optimizar la gestión de inventarios surge porque éstos representan una proporción significativa de los activos y por las diferencias entre el tiempo y la localización de la demanda y el abastecimiento procurando alcanzar un balance entre los costos en inventarios y los niveles de servicio al cliente. Según Eppen, Gould, Schmidt, Moore y Weatherford (2000), los inventarios actúan como amortiguador entre la oferta y la demanda, tanto para la materia prima, los productos en proceso de producción o los bienes terminados, de allí la importancia de la mejora en su manejo y control.

En la presente investigación se toma como caso de estudio la empresa ESPROM-Poliuretanos Cía. Ltda., ubicada en la provincia de Tungurahua – Ecuador, dedicada desde 1991 a la fabricación de productos para la industria de carrocerías, seleccionándose para los cálculos pertinentes los asientos tapizados en cuero para vehículos y asientos tapizados para autobuses (ESPROM, 2023); esto es, artículos tipo A si se considera la clasificación ABC de la inversión en inventarios. Actualmente la empresa no cuenta con un sistema o modelo de inventarios calculado técnicamente que facilite su manejo, por lo tanto, el presente trabajo contribuye a la toma de decisiones para su implementación en orden a mejorar su posición competitiva en el mercado, una vez que logre una reducción en las inversiones destinando esos recursos a otras necesidades de la empresa e incluso al incremento de utilidades.

Ahora bien, diversos métodos de Investigación de Operaciones se aplican para desarrollar un sistema de gestión de inventarios que se adecue con el comportamiento de los datos facilitados por la empresa objeto de estudio, entre ellos, el método denominado administración científica de inventarios (Hillier & Lieberman, 2015).

Por su parte, el presente artículo intenta responder a la pregunta ¿qué modelo o sistema de inventarios optimiza la gestión de la empresa ESPROM-Poliuretanos Cía. Ltda., que le permita establecer una política con respecto a la cantidad económica de pedido, las existencias de seguridad y los costos? Teniendo como objetivo, identificar el sistema óptimo de inventarios, aplicando técnicas de Investigación de Operaciones, que contribuya a la reducción de costos y al incremento de la rentabilidad en la empresa ecuatoriana objeto de estudio.

A continuación, se revisa la literatura sobre modelos y sistemas de inventarios, luego se declaran los materiales y métodos aplicados en el estudio, los resultados, la discusión y las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

1. Marco teórico.

1.1 Modelos de inventarios

La Investigación de Operaciones es una rama de las matemáticas que utiliza modelos matemáticos, estadísticos y algoritmos,

principalmente, con el fin de buscar soluciones significativamente más eficientes -en tiempo, recursos, beneficios, costos, entre otros-, en comparación con aquellas decisiones tomadas de forma intuitiva o sin el apoyo de herramientas técnicas. Los modelos de Investigación de Operaciones abordan usualmente una gran variedad de problemas de naturaleza real en ingeniería, ciencias sociales, medicina y agricultura, entre otros ámbitos, permitiendo a los gobiernos, las empresas y a sus usuarios y clientes la obtención de importantes beneficios asociados a su aplicación. Uno de esos modelos tiene que ver con la solución a problemas relacionados con la gestión de los inventarios, particularmente en las empresas productivas (Anderson, Sweeney & Williams, 2016; Flores-Tapia & Flores-Cevallos, 2022b; Prawda, 2000).

Los inventarios constituyen todas las existencias de insumos, productos en proceso o bienes terminados -bienes almacenados para uso o comercialización- que forman parte de los activos de la empresa, constituyéndose en la empresa manufacturera en un elemento clave en los costos de producción y en la empresa comercial en un factor fundamental en el margen de utilidad por ventas. Según Hillier y Lieberman (2015, p. 772):

“Los fabricantes necesitan contar con inventarios de materiales que se requieren para la manufactura de productos. También deben almacenar productos terminados en espera de ser enviados. De manera similar, tanto los distribuidores como las tiendas deben mantener inventarios de bienes disponibles para cuando los consumidores los soliciten. El costo asociado con almacenar (“mantener”) inventarios es también muy alto, quizá un cuarto del valor del inventario (...) Reducir los costos de almacenamiento para evitar inventarios innecesariamente grandes puede mejorar la competitividad de cualquier empresa.”

Según Noroña y Sánchez (2019), los inventarios pueden clasificarse por su forma, función y por el tipo de gestión de la demanda. Por su forma se clasifican en inventarios de materia prima, de productos en proceso y de producto terminado. Mientras que por su función se clasifican en inventarios de seguridad o de reversa, de desacoplamiento de procesos, en tránsito en la cadena de valor, de ciclo y de previsión o estacional. En cuanto a la gestión de la demanda se clasifican en independientes -cuando se ven afectados por las condiciones del mercado y no se relaciona con cualquier otro artículo almacenado- y en dependientes -es decir, su demanda dependerá del número de productor finales a fabricar o producir en cada periodo de tiempo-.

Para Pérez y Bastos (2014), algunos principios básicos que contribuyen a mantener y controlar los inventarios, son los siguientes:

- Desacoplar la demanda y producción, considerando el inventario como un elemento de holgura entre cantidades ofertadas y demandas.
- Utilizar el inventario como medio para la planificación y control de la producción, con el fin de atender la demanda existente.

- Proporcionar un buen nivel de servicio al cliente, el mismo que podrá disponer de los productos en la cantidad que necesite y cuando los requiera.

- Mantener la eficiencia en las operaciones de producción y comercialización.

Siguiendo a Hillier y Lieberman (2021, p. 772) “Los modelos matemáticos de inventarios que aplican este enfoque se pueden dividir en dos grandes categorías: modelos determinísticos y modelos estocásticos, según la posibilidad de predecir la demanda”, siendo la demanda de un producto en inventarios, la cantidad de unidades requeridas para ser usadas o comercializadas en un tiempo determinado. Se clasifican en determinísticos, si la demanda se puede proyectar con cierta precisión, caso contrario, cuando la demanda es aleatoria, los inventarios se denominan estocásticos o probabilísticos.

A su vez, los modelos determinísticos se subdividen en estáticos si la demanda es constante y dinámicos si la demanda es variable, mientras que los probabilísticos pueden ser estáticos si la demanda es incierta durante un solo período o dinámica si resulta incierta para varios períodos de tiempo. Ahora bien, considerando la variable “tiempo de entrega”, los inventarios se dividen en fijos si el lapso de tiempo de anticipación entre la colocación del pedido y la entrega es siempre el mismo, suponiendo que la recepción es prácticamente instantánea o porque se conoce la cantidad y tiempo de entrega; caso contrario, serán de tiempo variable. Asimismo, si se toma en cuenta la forma de revisión del inventario se puede aplicar un sistema de revisión continua cuando el pedido se realiza el momento en que el inventario alcanza el nivel de reorden especificado y de revisión periódica cuando se lo hace en determinados intervalos, incluso si el nivel hubiese llegado al punto de reorden (Hadley & Whitin, 2012).

Los cuatro modelos determinísticos que se destacan en la revisión de la literatura son compra y manufactura sin déficit –no se permiten faltantes- y compra y manufactura con déficit –se permiten faltantes-, teniendo como supuestos la demanda efectuada a tasa constante y todos los coeficientes de costos constantes. En el caso de los modelos de compra el replazo es instantáneo -la tasa de replazo es infinita- y en los de manufactura la tasa de reemplazo o tasa de manufacturación es finita y mayor que la tasa de demanda. Además, estos modelos se denominan modelos de la cantidad económica pedida o lote económico de pedido –EOQ-, ya que permiten calcular una cantidad pedida que minimiza los costos incrementales totales (Render, Stair & Hanna, 2016).

Ahora bien, por cuanto las políticas de inventarios afectan las ganancias o utilidades de la empresa, la elección entre una política y otra depende de su rentabilidad relativa. En ese sentido, algunos de los costos que determinan esta rentabilidad son:

Los costos de ordenar o fabricar
Los costos de mantener o almacenar
Los costos de penalización por faltantes o demanda insatisfecha.
Otros costos relevantes incluyen los ingresos
Los costos de recuperación
Las tasas de descuento
Importar lista0

Según Hadley y Whitin (2012), el problema del inventario tiene que ver con guardar en reserva un artículo para satisfacer las fluctuaciones de la demanda. El exceso de existencias de un artículo aumenta el costo del capital y de almacenamiento, y la escasez de existencias interrumpe la producción y/o las ventas. El resultado es buscar un nivel de inventario que balancee las dos situaciones extremas minimizando una función de costo apropiada. En este sentido, se sabe que las políticas de inventarios afectan las ganancias o utilidades de la empresa, consecuentemente la elección entre una política y otra depende de su rentabilidad relativa, reduciéndose el problema a controlar el nivel del inventario diseñando una política de inventario que responda fundamentalmente a dos preguntas: ¿cuánto pedir? y ¿cuándo pedir?

Para Taha (2012), la base del modelo de inventario es la siguiente función de costo genérica (Ecuación 1):

$$\left(\begin{array}{l} \text{Costo Total} \\ \text{de Inventario} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Costo de} \\ \text{Compra} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Costo de} \\ \text{preparación} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Costo de} \\ \text{retención} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Costo por} \\ \text{escasez} \end{array} \right)$$

Donde:

- El costo de compra es el precio por unidad de un artículo de inventario, considerando la posibilidad de comprar con descuento o sin él, dependiendo si el proveedor admite esta posibilidad condicionada a una determinada cantidad de pedido.
- El costo de preparación representa el cargo fijo por colocar un pedido, sin que incida su tamaño.
- El costo de reserva o almacenamiento hace referencia al gasto por mantenimiento de las existencias.
- El costo por déficit o escasez es la penalización en que se incurre cuando se agotan las existencias. No es el costo por ventas perdidas, sino aquel ocasionado por el retraso en satisfacer la demanda.

1.2 Sistemas de inventarios

En el presente estudio se aplican dos sistemas de inventarios a la empresa caso de estudio, el inventario de pedido de tamaño fijo a intervalos variables de tiempo –sistema Q- y el inventario de pedido de tamaño variable a intervalos fijos de tiempo – sistema P-. Usualmente, cuando el sistema de inventario es de tipo determinístico y la tasa de demanda es constante, se tiene muy poca diferencia entre los sistemas P y Q; presentándose diferencias más bien cuando la demanda, el tiempo de anticipación o ambos se vuelven probabilísticos (Flores-Cevallos & Flores-Tapia, 2020).

Los principales sistemas Q y P de inventarios son los siguientes:

1. Sistema Q: demanda variable, tiempo de anticipación constante.
2. Sistema P: demanda variable, período constante de anticipación.
3. Sistema Q: demanda constante, tiempo variable de anticipación.
4. Sistema P: demanda constante, tiempo variable de anticipación.
5. Sistema Q: demanda variable, tiempo variable de anticipación.
6. Sistema P: demanda variable, tiempo variable de anticipación.

Asimismo, un enfoque para gestionar sistemas probabilísticos de inventarios consiste en superponer un modelo basado en existencias

de seguridad, la cuales amortiguan las variaciones de la demanda y del tiempo de anticipación y regulan las unidades agotadas. Este enfoque facilita la aproximación razonable hacia una solución óptima, bajo el supuesto que las existencias de seguridad para el tiempo de anticipación y el intervalo entre pedidos son independientes (Sáenz, 2005).

La selección entre los sistemas Q y P se recomienda realizarla tomando en cuenta criterios prácticos gerenciales y del entorno económico, además de tener en cuenta el tiempo de reposición, el tipo del sistema de conservación de registros y el costo del artículo. No obstante, algunas condiciones bajo las cuales se puede preferir el sistema P al sistema Q, son las siguientes:

- Se colocan y/o entregan pedidos en intervalos específicos, esto es, cuando el inventario de un ítem es revisado cada intervalo de tiempo fijo y se realiza una orden por el monto apropiado; es decir, el tamaño de pedido varía con el comportamiento de la demanda.

- Se ordenan artículos múltiples al mismo proveedor y se entregan en el mismo embarque, prefiriendo, el proveedor, la inclusión de los artículos en una sola orden.

- Se piden artículos poco caros que no se pueden conservar en registros perpetuos de inventario. No se necesitan conservar registros de cada salida y entrada en el inventario. En suma, el sistema P proporciona la ventaja de reabastecimiento programado y la conservación de nuevos registros.

Cabe señalar, que los sistemas de inventarios P y Q, en el presente estudio, toman la demanda y los tiempos de anticipación mediante distribuciones empíricas. No obstante, los cálculos pueden también realizarse si determinadas distribuciones teóricas reemplazan a las distribuciones empíricas, siempre y cuando la distribución teórica describa convenientemente la variable estudiada.

Es importante indicar que cuando se tratan problemas de inventarios el análisis del problema y la sofisticación de los métodos utilizados se corresponden con la inversión en el inventario total del artículo estudiado. En las empresas, la mayor parte de la inversión se realiza relativamente pocos artículos; de allí que la clasificación ABC de la inversión en inventario resulta de suma utilidad en cuanto al análisis y sofisticación del control, siendo los artículos que tienen mayor inversión -tipo A- los que requieren mayor atención con respecto a los de menor inversión en inventarios, en estos últimos -tipo C-, generalmente, se realiza un control de rutina. Cabe aclarar que, para muchos el ABC es considerado como un sistema, pero en realidad se trata de un método de costeo de la producción basado en las actividades realizadas en su elaboración.

El método se diseñó para las empresas de manufactura, sin embargo gracias a los buenos resultados en el manejo del mismo su aplicación se extiende a las empresas de servicios, siendo una aplicación del principio de Pareto que manifiesta que hay unos pocos críticos y un gran número de triviales (Heizer & Render, 2020).

Una vez revisada la literatura, se derivan las siguientes hipótesis en la presente investigación:

Ho: No existen diferencias en la cantidad económica de pedido ni en las existencias de seguridad ni en los costos en la gestión de inventarios de dos de los productos -asientos tapizados en cuero para automóviles y asientos tapizados para autobuses- en la empresa objeto de estudio.

H1: existen diferencias en la cantidad económica de pedido, en las existencias de seguridad y en los costos en la gestión de inventarios de dos de los productos - asientos tapizados en cuero para automóviles y asientos tapizados para autobuses- en la empresa objeto de estudio.

2. Materiales y métodos

La presente investigación es de tipo cuantitativo, caracterizado según Robbins (2015, p. 32) por el uso de "... herramientas estadísticas, modelos de optimización, modelos de información y simulaciones por computadora a las diferentes actividades de la administración para la toma de decisiones".

El alcance de la investigación es explicativo porque el estudio analiza las causas, condiciones y resultados del caso de estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018) y se ajusta a la metodología de la investigación de operaciones aplicada a la optimización de inventarios o administración científica de inventarios, la cual contempla, de acuerdo con los autores Flores-Cevallos & Flores-Tapia (2020); Hillier & Lieberman (2015); Taha (2017), las siguientes etapas o fases:

- Formular un modelo matemático que describa el comportamiento del sistema de inventarios.
- Elaborar una política óptima de inventarios a partir de ese modelo.
- Utilizar un sistema de procesamiento de información computarizado para mantener registros de los niveles del inventario.
- A partir de estos registros, utilizar la política óptima de inventarios para señalar cuándo y cuánto conviene reabastecer.

Con la información contable facilitada por la empresa objeto de estudio para dos productos –asientos tapizados en cuero para automóviles y asientos tapizados en cuero para buses-, se calcula la cantidad óptima de pedido, las existencias de seguridad y los costos totales anuales para los sistemas de inventario Q –tiempo de pedido fijo a intervalo variable- y P –tiempo de pedido variable a intervalo fijo-, considerando las seis alternativas posibles combinadas de demanda y tiempo de anticipación –ya sea constante o variable-. Esto es:

1. Sistema Q: demanda variable, tiempo de anticipación constante.
2. Sistema P: demanda variable, período constante de anticipación.
3. Sistema Q: demanda constante, tiempo variable de anticipación.
4. Sistema P: demanda constante, tiempo variable de anticipación.
5. Sistema Q: demanda variable, tiempo variable de anticipación.
6. Sistema P: demanda variable, tiempo variable de anticipación.

2.1 Planteamiento matemático

En la tabla 1 se sistematizan las fórmulas utilizadas para el cálculo -utilizando software Excel- de cada una de las alternativas combinadas

de los sistemas de inventarios Q –tiempo de pedido fijo a intervalo variable- y P –tiempo de pedido variable a intervalo fijo-.

Nº	Sistema de inventario	Cantidad de pedido	Existencias de seguridad	Costo
1	Q: demanda variable, tiempo de anticipación constante.	$Q = \sqrt{\frac{2C_2\bar{D}}{C_3}}$	$Es = D_m - \bar{D}L$	$\bar{c} = c_1\bar{D} + c_2\frac{\bar{D}}{Q} + c_3\frac{Q}{2} + c_3(Es)$
2	P: demanda variable, tiempo de anticipación constante.	$Q = \sqrt{\frac{2C_2\bar{D}}{C_3}}$	$Es = D_m - \bar{D}(L + IP)$ $IP = \bar{t} = \frac{Q}{\bar{D}}$	$\bar{c} = c_1\bar{D} + c_2\frac{\bar{D}}{Q} + c_3\frac{Q}{2} + c_3(Es)$
3	Q: demanda constante, tiempo variable de anticipación.	$Q = \sqrt{\frac{2C_2D}{C_3}}$	$Es = D_m - D\bar{L}$	$c = c_1D + c_2\frac{D}{Q} + c_3\frac{Q}{2} + c_3(Es)$
4	P: demanda constante, tiempo variable de anticipación.	$Q = \sqrt{\frac{2C_2D}{C_3}}$	$Es = D_m - D(\bar{L} + IP)$ $IP = t = \frac{Q}{D}$	$c = c_1D + c_2\frac{D}{Q} + c_3\frac{Q}{2} + c_3(Es)$
5	Q: demanda variable, tiempo variable de anticipación.	$Q = \sqrt{\frac{2C_2\bar{D}}{C_3}}$	$Es = D_m - \bar{D}\bar{L}$	$\bar{c} = c_1\bar{D} + c_2\frac{\bar{D}}{Q} + c_3\frac{Q}{2} + c_3(Es)$
6	P: demanda variable, tiempo variable de anticipación	$Q = \sqrt{\frac{2C_2\bar{D}}{C_3}}$	$Es = D_m - \bar{D}(\bar{L} + IP)$ $IP = \bar{t} = \frac{Q}{\bar{D}}$	$\bar{c} = c_1\bar{D} + c_2\frac{\bar{D}}{Q} + c_3\frac{Q}{2} + c_3(Es)$

Donde:

Q: cantidad económica pedida	D: Demanda
Es: Existencias de seguridad	\bar{D} : Demanda promedio
\bar{c} : Costo total promedio	D_m : Demanda máxima para un riesgo específico.
C: Costo total	L: Tiempo de anticipación
C_1 : Costo por unidad	\bar{L} : Tiempo de anticipación promedio
C_2 : Costo por hacer el pedido	t: Tiempo entre pedidos
C_3 : Costo por mantenimiento	\bar{t} : Tiempo promedio entre pedidos
IP: Intervalo entre pedidos	

Tabla 1. Fórmulas matemáticas aplicadas en los cálculos de cantidad de pedido, existencias de seguridad y costo para los sistemas de inventarios Q y P

Fuente: Elaboración propia, a partir de Hillier y Lieberman (2015) y Taha (2017).

Los datos proporcionados por la empresa que sirven para el cálculo de la cantidad de pedido, las existencias de seguridad y el costo correspondiente en cada uno de los dos productos seleccionados de la empresa para este caso de estudio, aplicando las fórmulas matemáticas de la Tabla 1, son los siguientes:

- Producto 1: asientos tapizados en cuero para automóviles

En las alternativas de combinación de los modelos de inventarios Q y P de los numerales 3 y 4, en las cuales la demanda es constante el valor proporcionado por la empresa es de 700 unidades por mes y en

las alternativas 1 y 2, en las que el tiempo de anticipación es constante el valor considerado es 2 meses.

En todas las alternativas los costos son constantes, siendo el costo por unidad de USD. 500, el costo por hacer el pedido es USD. 150, el costo por mantenimiento de las existencias es USD. 0,5 por unidad/mes y para el costo total esperado anual se toman en cuenta 12 meses/año. Asimismo, en todos los casos la demanda máxima para un riesgo específico se calcula tomando en cuenta un riesgo nulo de déficit de las existencias. Mientras que en las alternativas 1,2,5 y 6 en los cuales la demanda es variable y en las alternativas 3,4,5 y 6 donde el tiempo de anticipación también es variable, los valores considerados para el cálculo se muestran en la Tabla 2.

Probabilidades de la demanda			Probabilidades del tiempo de anticipación	
Mes	Unidades /mes	Probabilidad	Mes	Probabilidad
1	600	0,2	1	0,2
2	800	0,5	2	0,5
3	700	0,3	3	0,3

Tabla 2. Distribución de la demanda y del tiempo de anticipación –producto 1-
Fuente: Elaboración propia, a partir de datos proporcionados por ESPROM (2023).

- Producto 2: asientos tapizados para buses

En las alternativas de combinación de los modelos de inventarios Q y P de los numerales 3 y 4, en las cuales la demanda es constante el valor proporcionado por la empresa es de 550 unidades por mes y en las alternativas 1 y 2, en las que el tiempo de anticipación es constante el valor considerado es 2 meses.

En todas las alternativas los costos son constantes, siendo el costo por unidad de USD. 300, el costo por hacer el pedido es USD. 120, el costo por mantenimiento de las existencias es USD. 0,40 por mes y para el costo total esperado anual se toman en cuenta 12 meses/año. Asimismo, en todos los casos la demanda máxima para un riesgo específico se calcula tomando en cuenta un riesgo nulo de déficit de las existencias. Mientras que en las alternativas 1,2,5 y 6 en los cuales la demanda es variable y en las alternativas 3,4,5 y 6 donde el tiempo de anticipación también es variable, los valores considerados para el cálculo se muestran en la Tabla 3.

Probabilidades de la demanda			Probabilidades en tiempo de anticipación	
Mes	Unidades /Mes	Probabilidad	Mes	Probabilidad
1	450	0,4	1	0,4
2	650	0,5	2	0,5
3	550	0,1	3	0,1

Tabla 3. Distribución de la demanda y del tiempo de anticipación –producto 2-
Fuente: Elaboración propia, a partir de datos proporcionados por ESPROM (2023).

3. Resultados

Una vez realizados los cálculos pertinentes, los resultados del cálculo de la cantidad de pedido, existencias de seguridad y costo total esperado anual para cada una de las seis alternativas de combinación de los sistemas de inventarios Q y P, se muestran en la Tabla 4.

Producto 1						
SISTEMA	Q: demanda variable, tiempo de anticipación constante.	P: demanda variable, período constante de anticipación.	Q: demanda constante, tiempo variable de anticipación.	P: demanda constante, tiempo variable de anticipación.	Q: demanda variable, tiempo variable de anticipación.	P: demanda variable, tiempo variable de anticipación
Cantidad de pedido	648	648	648	648	648	648
Existencias de seguridad	200	352	700	700	1000	3200
Costos totales	\$ 4.205.088	\$ 4.206.000	\$ 4.208.088	\$ 4.208.088	\$ 4.209.888	\$ 4.223.088
Producto 2						
SISTEMA	Q: demanda variable, tiempo de anticipación constante.	P: demanda variable, período constante de anticipación.	Q: demanda constante, tiempo variable de anticipación.	P: demanda constante, tiempo variable de anticipación.	Q: demanda variable, tiempo variable de anticipación.	P: demanda variable, tiempo variable de anticipación
Cantidad de pedido	574	574	574	574	574	574
Existencias de seguridad	200	276	550	550	850	2600
Costos totales	\$ 1.983.717	\$ 1.984.080	\$ 1.985.397	\$ 1.985.397	\$ 1.986.837	\$ 1.995.237

Tabla 4. Resultados del cálculo de cantidad de pedido, existencias de seguridad y costo total esperado –producto 1 y producto 2-

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos proporcionados por ESPROM (2023).

3.1 Análisis de resultados y discusión

Una de las principales diferencias entre los sistemas Q y P tiene que ver con la magnitud de las existencias de seguridad, observándose en la Tabla 4 que, el sistema Q requiere menos existencias de seguridad que P. Esto se explica porque en Q el cálculo de las existencias de seguridad depende de las variaciones de la demanda durante el tiempo de anticipación, mientras que, en P, dicha magnitud depende, más bien, de la suma del período de anticipación y del intervalo entre pedidos.

En efecto, como consecuencia de la necesidad de contar con mayores existencias de seguridad, el sistema P presenta cierta desventaja en costos con respecto a Q. No obstante, su ventaja reside en cuanto se realiza únicamente la revisión periódica del nivel de inventario, mientras en Q hay que llevar a cabo la revisión continua del nivel de inventario.

En la Tabla 4, también se puede observar que prácticamente los dos sistemas, Q y P, arrojan los mismos resultados en cuanto a cantidad de pedido, existencias de seguridad y costo total para las condiciones de demanda constante y tiempo de anticipación variable. Esto ocurre por cuanto con una demanda constante la cantidad de inventario disponible también es constante, siendo el período entre puntos del pedido constante.

Así también, el costo más alto mostrado en el caso de demanda variable y tiempo de anticipación variable en los dos sistemas, Q y P

con respecto a las otras condiciones calculadas en esta investigación, es, de alguna manera, la penalización para mitigar la incertidumbre en la gestión del inventario en un escenario con esas condiciones.

No es el caso del problema de inventario aquí estudiado para los dos productos de la empresa EMSA; sin embargo, cuando se tienen problemas de gestión de inventarios con demanda variable y tiempo de anticipación variable con una cantidad importante de distribuciones empíricas de probabilidad de la demanda y del tiempo de anticipación, se recomienda emplear las distribuciones teóricas y simulación para calcular el óptimo en la cantidad de pedido, las existencias de seguridad y costos; siempre y cuando la distribución teórica describa adecuadamente la variable estudiada.

No está por demás señalar también que el grado de análisis del tipo de problemas de inventario y la sofisticación de los métodos de control están relacionados con la inversión en el inventario total de los artículos ofertados, lo cual lleva a la necesidad de adoptar la clasificación denominada ABC de la inversión de inventario cuando la empresa tiene una amplia oferta de productos, estableciéndose que los artículos con mayor inversión en inventario -tipo A- requieren una mayor atención y los de menor inversión – tipo C- una atención rutinaria; razón por la cual en esta investigación se ha priorizado, para los cálculos pertinentes, los asientos tapizados en cuero para vehículos y asientos tapizados para autobuses; esto es, artículos con clasificación A.

Por otra parte, la política de inventario que se recomienda aplicar a la empresa objeto de estudio, en función de los datos facilitados y las condiciones establecidas para el cálculo de las diversas alternativas correspondientes a los sistemas Q y P, es el sistema Q, siempre y cuando la demanda sea variable y el tiempo de anticipación del pedido constante, pues allí se obtiene el costo total más bajo y se requieren menos existencias de seguridad para los dos productos estudiados. Siendo la regla de decisión óptima para la empresa pedir, para el producto 1 –asientos tapizados en cuero para automóviles-, 648 unidades cuando el nivel de inventario llegue a 200 unidades, con un costo esperado anual de USD. 4.205.088 y un riesgo de déficit nulo. Mientras que para el producto 2 - asientos tapizados en cuero para buses-, se deben pedir 574 unidades cuando el nivel de inventario llegue a 200 unidades, con un costo esperado anual de USD. \$ 1.983.717 y un riesgo de déficit del 0 por ciento.

Ahora bien entre los estudios sobre la aplicación de la administración científica de inventarios se destaca (Causado, 2015), quien propone la mejora del sistema de inventarios para una comercializadora de alimentos aplicando la clasificación de los productos con el método ABC y el modelo de Cantidad Económica de Pedido. Así también, Valencia, González y Cardona (2014) presentan una técnica de optimización de inventarios multiperíodo vía simulación, a partir del diseño de una variación a la meta heurística búsqueda tabú, aplicada a un modelo de pronóstico que se basa en modelos dinámicos y a un modelo dinámico de inventarios

con datos de ventas de un producto de una empresa de manufactura del sector confecciones de Colombia.

Asimismo, Díaz-Batista y Pérez-Armayor (2012) estudian la gestión de inventarios con un enfoque de cadena de suministro, denominados inventarios conjuntos suministrador-comprador, evidenciando sus ventajas en los costos totales de inventario en la cadena.

Por su parte, los autores Bhudia y Maiti (1997), presentan dos modelos de inventario deterministas para un solo artículo, donde para el primer modelo, la tasa de producción en cualquier instante depende del inventario disponible y para el segundo, depende de la demanda, siendo en ambos casos la tasa de demanda en cualquier momento función lineal del tiempo para el período de programación. Mientras, Pi-Chang, Wen-Sheng y Julianne (2016) proporcionan una explicación numérica detallada del costo total promedio esperado y realizan un modelo con demanda de tipo de rampa estocástica.

No obstante, en todos los estudios analizados no se revisan y analizan, a la vez, los resultados de los métodos estocásticos Q y P ni se determina el óptimo entre las posibles alternativas combinadas en cada uno de ellos, tanto de demanda constante como de tiempo variable de anticipación. Así, los resultados obtenidos en la investigación muestran valores cuantitativos que, siguiendo la metodología aquí aplicada, permiten a la gerencia contar con datos cuantitativos para la toma de mejores decisiones, destacándose, a su vez, la importancia de la aplicación y selección óptima del sistema de inventarios que mejor se ajuste a la empresa.

Todo lo anterior corrobora la fundamentación teórica que sustenta esta investigación, particularmente lo señalado por autores tales como Flores-Tapia y Flores-Cevallos (2022); Heizer y Render (2020); Hillier y Lieberman (2015); Noroña y Sánchez (2019); Pérez y Bastos (2014), entre otros.

Conclusiones

Los métodos empleados en este estudio presentan soluciones preliminares óptimas para la empresa objeto de estudio. La aproximación a la evaluación de los resultados obtenidos sujetos a las condiciones de demanda y tiempo anticipado para los sistemas de inventario Q y P, permiten concluir que un enfoque del sistema Q se logra con un balance entre los costos de ordenar el pedido de almacenamiento y de déficit, cuidando la interacción entre el nivel de existencias de seguridad y el período entre pedidos. Mientras que en el sistema P se hace necesaria la observación de la interacción entre la cantidad pedida en cualquier período y los próximos períodos, señalando que se puede obtener una mejor aproximación de las existencias de seguridad equilibrando los costos de almacenamiento de déficit.

Los sistemas P y Q se han aplicado a dos productos seleccionados de la empresa objeto de estudio, verificándose que se cumple la hipótesis alternativa, esto es: existen diferencias en la cantidad económica de pedido, en las existencias de seguridad y en los costos en la gestión de inventarios de los dos productos seleccionados en el

presente estudio - asientos tapizados en cuero para automóviles y asientos tapizados para autobuses- en la empresa objeto de estudio.

Por su parte, en cuanto al aporte teórico contrastado con los resultados del estudio, cabe destacar que buena parte de unidades productivas o de negocios tienen una cartera de productos que necesitan incluirse en la gestión de inventarios, tomando en cuenta que la sofisticación del análisis y toma de decisiones con respecto a los diversos artículos del inventario están relacionados con la proporción de representatividad en la inversión total en inventarios. En tal sentido, es importante señalar que, por lo general, en las empresas la mayor parte de la inversión se realiza en relativamente pocos artículos; por lo tanto, la clasificación ABC de la inversión en inventario resulta de suma utilidad en cuanto al análisis y sofisticación del control, siendo los artículos que tienen mayor inversión -tipo A- los que requieren mayor atención con respecto a los de menor inversión en inventarios.

Por otra parte, a lo largo de la investigación se ha ido alcanzando el objetivo inicialmente planteado, esto es, se ha identificado el sistema óptimo de inventarios, aplicando técnicas de Investigación de Operaciones, que contribuye a la reducción de costos y al incremento de la rentabilidad en la empresa objeto de estudio. Siendo éste el sistema Q, para los dos productos estudiados -asientos tapizados en cuero para automóviles y asientos tapizados para buses-, siempre y cuando la demanda sea variable y el tiempo de anticipación del pedido constante.

En efecto, se ha evidenciado que la optimización de inventarios aplicando investigación de operaciones contribuye a la solución de situaciones como las contempladas en esta investigación; sin embargo, no está exenta de limitaciones propias, tales como el hecho que la demanda usualmente no es constante en las economías de libre mercado, sino más bien es variable -probabilística-. Por lo tanto, las alternativas de sistemas de inventarios que contemplan cálculos en condiciones de variabilidad resultan mucho más útiles para la gerencia o para los tomadores de decisiones empresariales que aquellas que suponen, por ejemplo, situaciones de demanda conocida.

Finalmente, se recomienda para futuras investigaciones llevar a cabo estudios empleando distribuciones teóricas y simulación para calcular el óptimo en la cantidad de pedido, las existencias de seguridad y costos y evaluar sus resultados cotejándolos con los obtenidos mediante distribuciones empíricas, con el fin de contar con mayor información para la toma de decisiones gerenciales relacionadas con la gestión de inventarios en las empresas.

Referencias

- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2016). *Métodos cuantitativos para los negocios* (13th ed.). Cengage Learning.
- Bhudia, A., & Maiti, M. (1997). Deterministic inventory models for variable production. *Journal of the Operational Research Society*, 48(2), 221–224. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/palgrave.jors.2600343>
- Causado, E. (2015). Modelo de inventarios para control económico de pedidos en empresa comercializadora de alimentos. *Revista Ingenierías Universidad De Medellín*, 14(27), 163–177. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/1692>
- Díaz-Batista, J., & Pérez-Armayor, D. (2012). Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, 33(2), 126–132. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1815-59362012000200004
- Eppen, G., Gould, F., Schmidt, C., Moore, J., & Weatherford, L. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa* (5th ed.). Prentice Hall Inc. <https://jrvargas.files.wordpress.com/2009/01/investigacion-de-operaciones-en-la-ciencia-administrativa-5ta-edicion.pdf>
- ESPRON. (2023). ESPRON-Poliuretanos Cía. Ltda. <https://www.esprom.com/>
- Flores-Tapia, C., & Flores-Cevallos, K. (2022a). Optimización de portafolios de venta de productos en la post crisis Covid-19, aplicando programación lineal y pronósticos. *Espíritu Emprendedor TES*, 6(1), 56–80. <http://espirituemprendedores.com/index.php/revista/article/view/304/364>
- Flores-Tapia, C., & Flores-Cevallos, L. (2022b). Kruskal-Wallis, Friedman and Mood nonparametric tests applied to business decision making. *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación Científica*, 6(42), 1–20. <https://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/827>
- Hadley, G., & Whitin, T. (2012). *Analysis Of Inventory Systems*. Prentice Hall Inc. <https://www.amazon.es/Analysis-Inventory-Systems-International-Quantitative/dp/1258240238>
- Heizer, J., & Render, B. (2020). *Process Strategy*. In *Operations Management* (7ma.). Prentice Hall Inc.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf

- Hillier, F., & Lieberman, G. (2015). Investigación de operaciones (10th ed.). McGraw Hill. <https://n9.cl/2u4wu5>
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2021). Introduction to Operations Research (10th ed.). McGraw Hill. <https://n9.cl/plco6>
- Noroña, C., & Sánchez, J. (2019). Diseño de una Política de Inventario para una Empresa de Acero [Universidad Internacional de La Rioja]. [https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/9427/LamNoroña%2C Cecilia Jemima.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/9427/LamNoroña%2C%20Cecilia%20Jemima.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pérez, M., & Bastos, A. (2014). Introducción a la gestión de stocks. Ideas propias Editorial. https://books.google.com.ec/books/about/Introducción_a_la_gestión_de_stocks.html?id=V5pSNK_oyT4C
- Pi-Chang, J., Wen-Sheng, C., & Julianne, P. (2016). Inventory models with stochastic ramp type demand. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 19(1), 55–64. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09720502.2015.1084775>
- Prawda, J. (2000). Métodos y modelos de Investigación de Operaciones. Limusa. https://catalogo.uninav.edu.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1587&shelfbrowse_itemnumber=2933#shelfbrowser
- Render, B., Stair, R., & Hanna, M. (2016). Métodos cuantitativos para los negocios (11th ed.). Pearson. <https://www.pearsonenespanol.com/mexico/tienda-online/métodos-cuantitativos-para-los-negocios-12ed-ebook>
- Robbins, S. (2018). Administración (13th ed.). Pearson Educación. <https://www.marcialpons.es/libros/administracion/9786073243377/>
- Sáenz, R. (2005). Operaciones: concepto, sistema, estrategia y simulación. Academia. *Revista Latinoamericana de Administración*, 34, 1–24. <https://www.redalyc.org/pdf/716/71603402.pdf>
- Taha, H. (2017). Investigación de operaciones (Vol. 10). Pearson Educación.
- Valencia, M., González, D., & Cardona, J. (2014). Metodología de un modelo de optimización para el pronóstico y manejo de inventarios usando el metaheurístico Tabú. *Ingeniería*, 24(1), 13–27. https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/13771/pdf_16
- Flores-Cevallos, L., & Flores-Tapia, C. (2020). Investigación Operativa. Editorial Académica Española. https://www.amazon.com/-/es/Karla-Lissette-Flores-Cevallos/dp/6200360669/ref=sr_1_7?__mk_es_US=ÅMÅŽŃ&crd=2AGG6SDDP7773&keywords=karla+flores+cevallos&qid=1679330340&s=books&sprefix=karla+flores+cevallos%2Cstripbooks-intl-ship%2C172&sr=1-7