

Cálculo del inventario de un ítem con demanda normal y tiempo de entrega exponencial.

Calculating the inventory of an item with normal demand and exponential delivery time.

Izar Landeta, Juan Manuel *, Nájera Saldaña, José Adrián **,
Zárate Camacho, Lizbeth Angélica ***

*Doctor en Administración. Tecnológico Nacional de México, ITS Rioverde. Email: jmizar@hotmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3187-6481>.

**Doctor en Administración. Tecnológico Nacional de México, ITS Rioverde. Email: jose.ns@rioverde.tecnm.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1795-4471>.

***Maestra en Educación Basada en Competencias. Tecnológico Nacional de México, ITS Rioverde. Email: lizbeth.zc@rioverde.tecnm.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6834-1667>.

Correo para recibir correspondencia:

Juan Manuel Izar Landeta
jmizar@hotmail.com

ISSN 2448-4733



DOI: <https://doi.org/10.19136/hitos.a31n90.6382>

RESUMEN

OBJETIVO: Estudiar el caso del cálculo del inventario de un artículo con demanda normal y tiempo de entrega del proveedor exponencial.

MATERIAL Y MÉTODO: Se aplican los modelos tradicionales de cantidad de pedido y punto de reorden mediante simulación, incluyendo los ahorros por comprar mayores volúmenes.

RESULTADOS: Se obtuvo la cantidad de pedido y el punto de reorden para el caso ilustrativo y luego se variaron el efecto boca a boca y la desviación estándar de la demanda. Si estos dos parámetros aumentan, el costo del inventario también lo hace, siendo la variación del costo prácticamente lineal con la desviación estándar.

CONCLUSIONES: La cantidad de pedido se ubicó en los límites inferiores de máximo volumen, 5001 y 10001 artículos. Al incrementarse el efecto boca a boca, se incrementa el costo de faltantes y del inventario, así como la cantidad de pedido y con mayor desviación estándar, el costo del inventario se incrementa de manera lineal, incluso el punto de reorden también aumenta.

Entre las limitantes del estudio está que se ha manejado una distribución de probabilidad para la demanda y el tiempo de entrega del proveedor, lo que da pie en futuros casos de manejar otras distribuciones de probabilidad.

PALABRAS CLAVE: cantidad de pedido, punto de reorden, costo del inventario, demanda, tiempo de entrega.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To study the case of calculating the inventory of an item with normal demand and exponential supplier delivery time.

MATERIAL AND METHOD: Traditional order quantity and reorder point models are applied through simulation, including savings from purchasing larger volumes.

RESULTS: The order quantity and reorder point were obtained for the illustrative case, and then the word-of-mouth effect and standard deviation of demand were varied. As these two parameters increase, so does inventory cost, with the change in cost being practically linear with the standard deviation.

CONCLUSIONS: The order quantity was within the lower limits of maximum volume, 5,001 and 10,001 items. As the word-of-mouth effect increased, the cost of shortages and inventory, as well as the order quantity, increased. With a higher standard deviation, inventory costs increased linearly, even increasing the reorder point.

Among the limitations of the study is that a probability distribution was used for the supplier's demand and delivery time, which allows for the use of other probability distributions in future cases.

KEY WORDS: order quantity, reorder point, inventory cost, demand, lead time.

El inventario suele representar un monto muy importante del activo de la mayoría de las corporaciones hoy día, razón por la que debe administrarse de manera efectiva para que cumpla su cometido de proveer los bienes o insumos y esto a un costo mínimo, que contribuya a generar rentabilidad económica.

Los nuevos esquemas de fabricación de artículos, como la manufactura esbelta, o la industria 4.0, tienden a disminuir los bienes en inventario, buscando producirlos hasta que exista la demanda de los mismos por parte de la clientela.

No obstante, numerosas organizaciones comerciales y de servicios, adquieren productos de sus proveedores para venderlos al público y no pueden implementar este tipo de medidas, ya que en caso de que la demanda exceda a su existencia en inventario, dejarían de vender, con la consiguiente pérdida de ventas y además dando una mala imagen a la clientela.

Es por esto que requieren de bienes en inventario que deberán administrarse correctamente para evitar caer en un costo elevado, ya que si se maneja un inventario muy bajo pueden aparecer faltantes, mientras que en el caso opuesto, que el inventario sea alto, se incurre en un costo elevado para su mantenimiento y administración, además de tener dinero ocioso invertido en este, y el riesgo que los artículos se deterioren o queden obsoletos, ya que en este tiempo los ciclos de vida de todos los productos son más cortos.

Para administrar apropiadamente el inventario deben considerarse varios factores tales como los siguientes (Silver, 2008): la cantidad de artículos, que puede ser uno solo hasta cientos de ellos; su patrón de demanda, la cual puede ser dependiente o independiente, aleatoria o determinística, conocida o incierta; las opciones del proveedor para su embarque y entrega; el espacio de almacenamiento; los mecanismos de entrega al cliente; las restricciones económicas, legales y del mercado vigentes y otros.

Ante la incertidumbre en la demanda de artículos, lo cual es usual en la vida real, las empresas prefieren contar con inventario que les permita absorber las diferencias entre oferta y demanda, ya que es más simple que varíe el inventario y no el programa de fabricación, lo cual sería más costoso.

La administración del inventario trae consigo tres decisiones básicas: (1) ¿Con qué periodicidad revisar el sistema?, (2) ¿Cuánto pedir al momento de hacer un nuevo pedido?, y (3) ¿En qué momento hacer el nuevo pedido?

Administrar correctamente el inventario es una tarea formidable y retadora, la cual se complica por el hecho de enfrentarse a una demanda de artículos y tiempos de entrega del proveedor aleatorios, puesto que el manejo trata de balancear entre un nivel de inventario que produzca faltantes y uno excesivo que incrementa los costos. La mayoría de los modelos de inventarios buscan la minimización de los costos incurridos en su manejo y este es el objetivo que se busca en este estudio.

Entre una gran cantidad de trabajos que abordan esta temática, se comentan algunos de los más recientes y que tienen que ver con la manera de determinar la cantidad de pedido (Q) y el punto de reorden (PR) en diferentes condiciones, considerando lo mencionado por Sorooshian y Jadidi (2021), quienes afirman que el cálculo del punto de reorden permite enfrentar la incertidumbre del tiempo de entrega.

En un estudio previo, Izar-Landeta et al. (2016) analizaron para dos artículos, el impacto de la media y varianza tanto de la demanda de los artículos como las del tiempo de entrega en el costo del inventario, uno de los artículos con distribución normal y el otro con distribución uniforme. Para el de distribución normal, las variables que impactan en mayor medida han sido la varianza del tiempo de entrega y luego la media de la demanda, mientras que para el producto con distribución uniforme fueron importantes las cuatro variables, es decir, la media y varianza tanto de la demanda como del tiempo de entrega. Una recomendación emanada de este estudio es que para un buen manejo del inventario se seleccionen proveedores con un tiempo de entrega razonable y mínima variabilidad.

Por su parte, Lukiman y Richard (2020) han realizado para un proveedor de servicios de telecomunicaciones un trabajo combinado con la metodología del análisis y diseño orientado a objetos, en el cual en primer lugar seleccionan vendedores con la metodología del proceso de jerarquización analítica de Saaty (AHP), para luego, con modelos de inventarios, determinar la cantidad de pedido y el punto de reorden, logrando una solución eficiente para el caso de estudio.

Por otro lado, Shaikh et al. (2019) aplicaron un modelo de la cantidad económica de pedido para artículos que se deterioran, que incluyen descuento en su precio por volumen, su demanda depende de lo que haya de existencias en el inventario y se permiten atrasos parciales en los pedidos.

Bajo el contexto de un hospital en Bandung, India, Saini (2021) hizo un estudio para tomar las decisiones de inventario en el caso de medicinas de rápido movimiento, logrando una solución eficiente, usando como parámetro el índice de rotación de los artículos.

Asimismo, Heaviside et al. (2020) aplicaron para el caso de un taller de reparación de motos en Indonesia, con la técnica de pronósticos de promedios móviles ponderados y suavizamiento exponencial simple y doble para la demanda de repuestos, y con los modelos tradicionales de inventarios para la estimación de la cantidad de pedido y el punto de reorden, logrando satisfacer la demanda a un costo razonable.

Así también, Chakraborty y Bhattacharjee (2019) estudiaron un modelo continuo de inventarios con mezcla de órdenes atrasadas y pérdida de ventas, en el cual la cantidad de pedido y el punto de reorden son variables de decisión, con la demanda normal y el tiempo de entrega con distribución Erlang. Entre sus hallazgos, encuentran que el punto de reorden decrece cuando la fracción de órdenes atrasadas aumenta, mientras que la cantidad de pedido casi no cambia.

Por su parte, Sun y Zhang (2019) han desarrollado un modelo integrado de dimensionamiento de lotes de producción y entrega en el que un fabricante suministra un producto a un minorista. El productor fabrica el producto a una tasa finita y se supone que la tasa de producción es menor que la tasa de demanda del mercado; mientras tanto, se asume que la demanda del tiempo de entrega es estocástica y se permiten los faltantes, por tanto, el tiempo de entrega y el punto de pedido son para este modelo variables de decisión. El objetivo del estudio es determinar la cantidad de pedido óptima, el punto de reorden, el tiempo de entrega y el número de entrega durante cada ciclo de producción, de modo que se minimice el costo total esperado por unidad de tiempo del fabricante y el minorista al proporcionar un algoritmo iterativo efectivo.

En otra investigación en Semarang, Indonesia, Efrilianda et al. (2018) han definido un sistema de control del inventario de renovación de artículos de una cadena de suministro de un mayorista central a los minoristas, basado en la metodología del punto de reorden, para minimizar el costo total de la cadena basado en la demanda del consumidor.

En otro trabajo, Arani et al. (2021) aplicaron la técnica de simulación-optimización para solucionar un caso del manejo de inventario de un puerto marítimo. Se dispone de una gran cantidad de datos, lo que implica primero su clasificación y depuración, para luego obtener estimaciones del punto de reorden y la cantidad de pedido, incluyendo análisis del nivel de servicio. Utilizaron el software Arena para los cálculos, logrando estimaciones cuasi óptimas.

En otro estudio, Bhavsar y Sinha (2019) consideran las desviaciones en la demanda, así como en el tiempo de entrega para decidir el punto de reorden mediante nuevas fórmulas basadas en el nivel de significancia de estas desviaciones, lo que ayuda a disminuir el stock de seguridad, mejorando con ello el punto de reorden y el tiempo de entrega.

Por su parte, Nobil et al. (2020) han aplicado el modelo de la cantidad económica de pedido para lotes con artículos imperfectos, lo que lleva al cálculo del punto óptimo de reorden.

Ghafour (2018) ha efectuado un estudio de definir la mejor política de inventario ante aleatoriedad en la demanda y el tiempo de entrega, los cuales tienen distribuciones de probabilidad de la demanda del tiempo de entrega Pearson de seis parámetros, Log-Pearson de tres, de Birnbaum-Saunders y Guassiana inversa de tres parámetros. El stock de seguridad depende del factor de seguridad para cierto nivel de servicio y desviación estándar de la demanda del tiempo de entrega para lograr el punto de reorden óptimo.

Johansen (2019) presenta un estudio de control de inventario para un único artículo con demanda compuesta de Poisson, en el cual las órdenes normales se hacen bajo una política del punto de reorden con cantidad de pedido fija y las órdenes de emergencia con una política del punto de reorden con nivel de servicio meta. Se asume que las órdenes de emergencia tienen un tiempo de entrega corto y constante y cuestan más que las normales, para las cuales el tiempo de entrega extra es estocástico, pero su costo de pedido es fijo, mientras que el costo de mantenimiento del inventario es lineal, así como el de los faltantes.

Por su parte, Dey et al. (2021) en otro trabajo de investigación, exploran y cuantifican los beneficios de reducir el tiempo de entrega y su variabilidad para la cantidad de tamaño de lote, la tasa de producción, el factor de seguridad, el punto de pedido, el costo de publicidad y el costo de instalación del proveedor que se maneja en una cadena de suministro. En lugar de las ecuaciones esperadas del costo total, este estudio proporciona una ecuación exacta basada en una relación inherente entre el inventario disponible y el pedido pendiente. Sus resultados muestran que el costo total de la cadena de suministro es una función convexa del tiempo de entrega y su varianza, disminuyendo el ahorro en costos si el tiempo de entrega es mayor.

De forma similar, Yassine y El-Rabih (2019) en otro estudio, examinan un modelo de producción en el cual N diferentes tipos de componentes se usan para ensamblar un producto acabado. Los componentes se adquieren de varios proveedores en lotes que se reciben antes o al inicio del proceso de ensamble. El tiempo de entrega de las N órdenes se asume como una variable aleatoria con una función de densidad de probabilidad conocida. Encuentran que el punto de reorden depende de la distribución de probabilidad y del valor esperado de la variable que representa el máximo de los N tiempos de entrega.

Inprasit y Tanachutiwat (2018) determinaron mediante la técnica de aprendizaje automático el punto de reorden para un sistema de control de inventarios mediante un modelo artificial de redes neuronales usando MATLAB.

Por su parte, Tahami et al. (2019) estudiaron un modelo de producción de inventario que incluye el efecto inflacionario, con distribuciones normales de la demanda del tiempo de entrega con capacidad finita, considerando que los elementos del tiempo de entrega, como son los tiempos de preparación, producción y transportación, así como el costo de ordenar pedidos, que incluye el costo y la cantidad de pedido y el punto de reorden, son controlables.

Continuando con lo expuesto, Xiaoming (2020) explora los beneficios de reducir el tiempo de entrega y su varianza en un sistema de política de inventarios de ordenamiento por lotes. Presenta una ecuación del costo total construida con base en la relación entre inventario a la mano y de pedidos pendientes. Encuentra que el costo del inventario aumenta como una función cóncava con el tiempo de entrega y su varianza. Señala que, si el coeficiente de variación de la demanda y del tiempo de entrega son pequeños, la atención debe centrarse en reducir la varianza del tiempo de entrega; de otro modo, el enfoque debe centrarse en disminuir el tiempo de entrega.

Por su parte, Izar-Landeta et al. (2018) analizaron el punto de reorden para dos artículos, uno con distribución de probabilidad Poisson y el otro exponencial de la demanda del tiempo de entrega. Para el primer artículo, encuentran que el costo del inventario es no lineal respecto al punto de reorden, ya que éste se ubicó en niveles intermedios dependiendo del nivel de servicio; y en el caso del artículo con distribución exponencial, la variación del costo del inventario ha sido lineal para niveles de servicio bajo y alto, pero una relación parabólica en niveles intermedios. En cuanto a la variación del costo del inventario respecto al nivel de servicio, el comportamiento ha sido lineal para el ítem con distribución Poisson y no lineal para el de distribución exponencial, tornándose asintótico para niveles de servicio mayores a 62%.

Igualmente, Malik y Sarkar (2018) han planteado un modelo de inventario con costo variable de instalación bajo condiciones estocásticas, en el que la cantidad de pedido, el punto de reorden, el tiempo de entrega y el precio de la orden atrasada son variables de decisión. Analizan el enfoque con una distribución libre para la demanda de tiempo de entrega con media y desviación estándar conocidas. El método propuesto se valida con base en un ejemplo numérico y el análisis de sensibilidad, y los resultados se comparan con el de estudios previos. Los resultados muestran que el enfoque de distribución libre propuesto es más económico y ahorra costos significativos.

Braglia et al. (2019) estudian un sistema de inventarios de un producto que se deteriora, con demanda aleatoria y tiempo de entrega positivo, en el cual se permiten los faltantes. Aplicaron un método iterativo para obtener la cantidad de pedido y el punto de reorden cuyo objetivo fue minimizar el costo.

Barron y Baron (2020) por su parte, han realizado un estudio mediante un proceso markoviano para obtener la cantidad de pedido y el punto de reorden de un sistema de inventario con demandas compuestas Poisson, tamaño del lote aleatorio, tiempos de entrega de tipo general, tiempos de estante exponenciales y ventas perdidas. Encuentran que, si aproximan la distribución del tiempo de entrega mediante una función exponencial, sólo opera si el punto de reorden es pequeño, de otro modo debe usarse la distribución exacta para lograr ahorros.

Sevgen y Sargut (2019) estudiaron un sistema de revisión continua de inventario de un minorista con demanda determinística y constante, pero sujeta a interrupciones aleatorias, de modo de lograr un punto de reorden que brinde ahorros al minorista. Mediante experimentos computacionales, identificaron cuando un punto de reorden diferente a cero permite ahorro de costos y lo compararon con la metodología clásica de la cantidad económica de pedido.

Wanti et al. (2020) aplicaron una metodología estadística de la cantidad económica de pedido, efectuando en primer término un análisis del stock de seguridad, que lleve a la empresa a una mejor toma de decisiones sobre planeación de la producción, control del inventario y definir en forma rápida y precisa la demanda del mercado. Con esto se permite una mejor toma de decisiones a los líderes de la empresa, tomando en cuenta las necesidades del usuario.

Por otro lado, Sana y Goyal (2015) presentan un modelo de la cantidad económica de pedido con tiempo de entrega variable, costo de compra dependiente de la orden, el punto de reorden y tiempo de entrega dependientes de retrasos parciales de entrega. La cantidad de pedido, el punto de reorden y el tiempo de entrega son variables de decisión, encaminadas a minimizar el costo, lo que se analiza para los casos de una distribución libre o conocida.

Por su parte, Glock y Ries (2013) estudian el caso de un comprador que adquiere el producto de múltiples proveedores con demanda estocástica. El tiempo de entrega se asume determinístico y varía linealmente con tamaño del lote, por lo cual el riesgo de faltantes está influenciado por el tamaño del lote y el número de proveedores. Presentan un modelo matemático para el inventario y analizan el impacto de la estructura de aprovisionamiento en el riesgo de caer en faltantes.

Di Nardo et al. (2020) proponen la optimización dinámica del tamaño del stock dentro del ambiente Logistic 4.0, además la seguridad se concibe para paliar la variabilidad de la demanda, por tanto, se enfoca en la integración vertical para implementar sistemas flexibles de fabricación inteligente, mediante la integración de sistemas de información para optimizar el flujo de materiales en una aproximación de servicio completo 4.0; por consiguiente, se calcula y se valida con un algoritmo modificado iterativo de ajuste automático. Así, el caso de estudio es en el manejo de materiales de un tren de muy alta velocidad.

Dullaert y Zamparini (2013) buscan determinar el impacto de la media y varianza del tiempo de entrega en el costo del inventario para el caso de empresas de transporte de carga, con la simulación encuentran que disminuir la variabilidad del tiempo de entrega no reduce los costos, sino que, en un momento dado podría incrementarlos; esto depende de la distribución de la demanda del tiempo de entrega y del nivel de servicio meta que se haya establecido.

Van-Kampen et al. (2010) afirman que, para un modelo de inventarios, las dos medidas para enfrentar la incertidumbre en la oferta y demanda de un artículo, son el tiempo de entrega y el stock de seguridad. Mediante simulación encuentran para un sistema de múltiples artículos, que, si la incertidumbre está del lado de la oferta, se maneje un tiempo de entrega seguro; en caso que la incertidumbre esté del lado de la demanda, aconsejan el manejo de un stock de seguridad apropiado.

Por otro lado, He et al. (2011) afirman que, para una cadena de suministro, es la variabilidad del tiempo de entrega y no su valor promedio lo que impacta a la política que debe seguirse del inventario, así como a sus costos.

Por su parte, King (2011) afirma que la variabilidad de la demanda del tiempo de entrega es la variable que más impacta al costo del inventario.

Kanet, Gorman y Stoblëin (2010) sugieren el uso de un stock de seguridad variable para reducir los costos del inventario, con un stock mayor en la medida en que la demanda y/o la oferta sean menos predecibles.

MATERIAL Y MÉTODO

Consiste en obtener, mediante simulación, la cantidad de pedido, Q, y el punto de reorden, PR, que minimicen los costos del inventario.

Los modelos de la cantidad de pedido y del punto de reorden son los que se aplican en la gran mayoría de los casos cuando lo que se busca es minimizar el costo del inventario, como es el objetivo para el caso ilustrativo presentado en este trabajo.

Lo que cambia es que para llegar a la cantidad de pedido, Q, y el punto de reorden, PR, se aplica simulación, ya que es una técnica adecuada cuando los parámetros implicados en el estudio son aleatorios, como es el caso de la demanda de artículos, que se comporta conforme a la distribución normal de probabilidad y el tiempo de entrega del proveedor que se ajusta a la distribución exponencial de probabilidad. En estos casos la simulación brinda buenos resultados si se aplica con un número suficiente de corridas, como ha sido en este caso.

Estos costos son los siguientes:

$$C_{ped} = C_p \quad (1)$$

Donde:

C_{ped} = Costo de colocar pedidos del inventario, \$/periodo

C_p = Costo de cada pedido, \$/pedido

En este caso, como el problema se plantea con periodos semanales, sería en la semana que se hace un nuevo pedido cuando se incurre en dicho costo.

Otro costo es el de mantenimiento en el inventario, el cual viene dado por la siguiente ecuación:

$$C_{mant} = C_m(\text{Inventario Promedio}) \quad (2)$$

Siendo:

C_{mant} = Costo del mantenimiento del inventario, \$/periodo

C_m = Costo de mantenimiento de cada artículo, \$/unidad

Así, el inventario promedio se obtiene para cada periodo de tiempo, dependiendo como se haga la simulación, como en este estudio es semanal, sería el promedio de la semana.

También se toma en consideración el costo de faltantes, el cual viene dado por la siguiente relación matemática:

$$C_{falt} = C_f N_f (1 + \alpha) \quad (3)$$

Donde:

C_{falt} = Costo de faltantes, \$/periodo

C_f = Costo de cada faltante, \$/unidad

N_f = Número de faltantes, unidades/periodo

α = Factor de incremento de cada faltante

El costo de cada faltante se estima restando al precio del artículo su costo, ya que es lo que se deja de ganar por no tener existencia suficiente de artículos, el cual puede incrementarse por el efecto boca a boca, aspecto contabilizado en el valor de α .

Además, dado que el proveedor en este caso ilustrativo ofrece una escala de diferentes precios del artículo, dependiendo del volumen de pedido, se contabiliza el costo de adquisición, el cual viene dado por la siguiente ecuación:

$$C_{adq} = C_a Q \quad (4)$$

Donde:

C_{adq} = Costo de adquisición de cada pedido, \$/periodo

C_a = Costo de cada artículo, \$/unidad

Q = Cantidad de pedido, Unidades/pedido

Aun cuando este costo no es propio del inventario, se considera para tomar en cuenta los ahorros en la compra de mayores volúmenes, al ser menor el costo unitario de cada artículo.

Por lo tanto, el costo total es la suma de todos los anteriores, de modo que en la simulación se variarán la cantidad de pedido, Q , y el punto de reorden PR , que a final de cuentas minimicen el costo total de un año.

Además, se toma en cuenta la restricción de lograr un nivel de servicio, ns , mínimo del 90%. El nivel de servicio se define mediante la expresión siguiente:

$$ns = 1 - \frac{\text{Veces que suceden faltantes}}{\text{Número de pedidos}} \quad (5)$$

Con esto, se efectúa la simulación, para definir para las condiciones del caso ilustrativo, los valores de Q y PR que minimizan el costo total del inventario.

APLICACIÓN AL CASO ILUSTRATIVO

Se tiene un artículo, cuya demanda es normal, con media de 1000 unidades semanales y desviación estándar de 200. El costo de hacer un pedido es de \$6,500 independiente del tamaño del pedido, mantener en inventario cuesta 3 \$/semana por artículo. El proveedor ofrece la siguiente escala de precios dependiendo del volumen de pedido:

Tabla 1

Costo de cada artículo en función del volumen de pedido

Rango de volumen, unidades/pedido	Costo, \$/unidad
1 – 5000	138.00
5001 – 10000	132.00
Mayor de 10000	126.00

Nota. Elaboración propia.

El factor del efecto boca a boca se considera que debe ser la unidad, de modo que el costo del faltante sea el doble de lo que se deja de ganar por no tener existencias y el nivel de servicio debe ser mayor o igual al 90%.

El tiempo de entrega del proveedor se ajusta a una distribución exponencial negativa con media de tres semanas.

Para plantear la simulación, se asume un periodo de tiempo semanal, que se inicia en la primera semana con la cantidad Q de pedido y ésta empieza a disminuir conforme a la demanda normal del artículo, según la ecuación siguiente:

$$Demanda = \mu + \sigma X \quad (6)$$

Siendo μ la media y σ la desviación estándar de la distribución normal, mientras que X es un número aleatorio obtenido con Excel para estimar la demanda en forma probabilística.

Para el tiempo de entrega de cada pedido, que también es probabilístico, L, éste viene dado por la expresión matemática:

$$L = \mu_L \ln(1 - X) \quad (7)$$

Siendo μ_L la media de la distribución exponencial y X otro número aleatorio.

Para cada semana se calcula el costo de mantener el inventario promedio y los demás costos se contabilizan cada que sucede un evento respectivo, así para el caso de hacer pedido, el costo de pedidos; cada que aparezca un faltante, se incluye el costo de los faltantes; y cada que se recibe el pedido, el costo de adquisición del mismo.

De esta forma se hace un número de corridas suficiente y se obtiene el costo anual, el cual se prueba para diferentes combinaciones de valores de Q y PR.

RESULTADOS

Si el punto de reorden se hubiese calculado de la forma tradicional para este caso, habría resultado en 6,845 unidades.

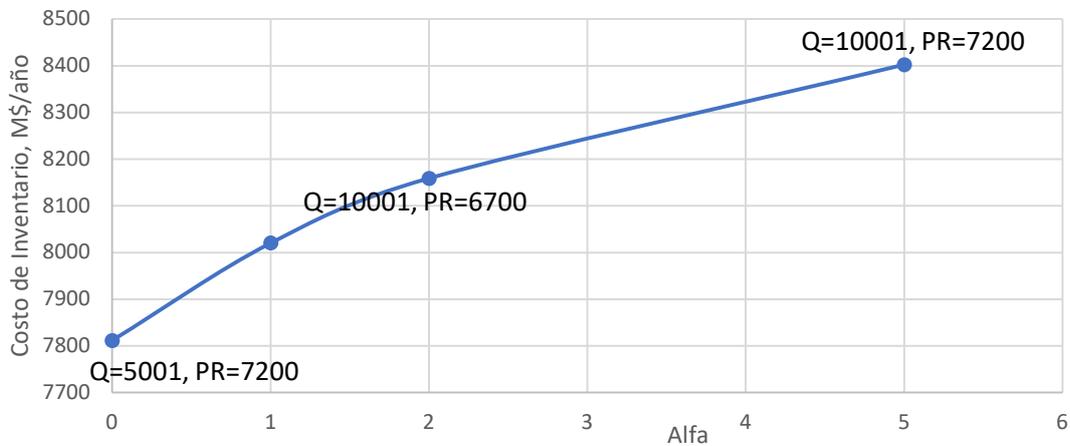
Para este caso, denominado el caso base, con los datos antes mencionados, el costo mínimo se logra con una Q de 10,001 artículos por pedido y un punto de reorden PR de 6,700 unidades, valor muy cercano al obtenido con la fórmula tradicional. Con esto, se logra un nivel de servicio de 91.9% y un costo total de 8,020,400 \$/año, de los cuales 33,600 son por hacer pedidos, 1,395,600 por mantenimiento del inventario, 79,600 pesos por faltantes y la partida principal, el costo de compra de los artículos, el cual resultó en un monto de 6,511,600 \$/año.

Este valor de Q se da porque es con el volumen mínimo en que el proveedor oferta el precio mínimo del artículo, lo que compensa el incremento en otros costos como es el caso del mantenimiento del inventario.

Si a partir del caso base, se hace un análisis de sensibilidad, variando alfa y la desviación estándar de la demanda de artículos del inventario, para ver cómo afectan tanto al costo, como a la cantidad de pedido y el punto de reorden que logren el costo óptimo del inventario, los resultados se comentan enseguida.

Para el caso de variar alfa, que es un parámetro que afecta al costo de los faltantes, la variación del costo se muestra en la figura siguiente:

Figura 1
Variación del costo del inventario con el valor de Alfa



Nota. Elaboración propia.

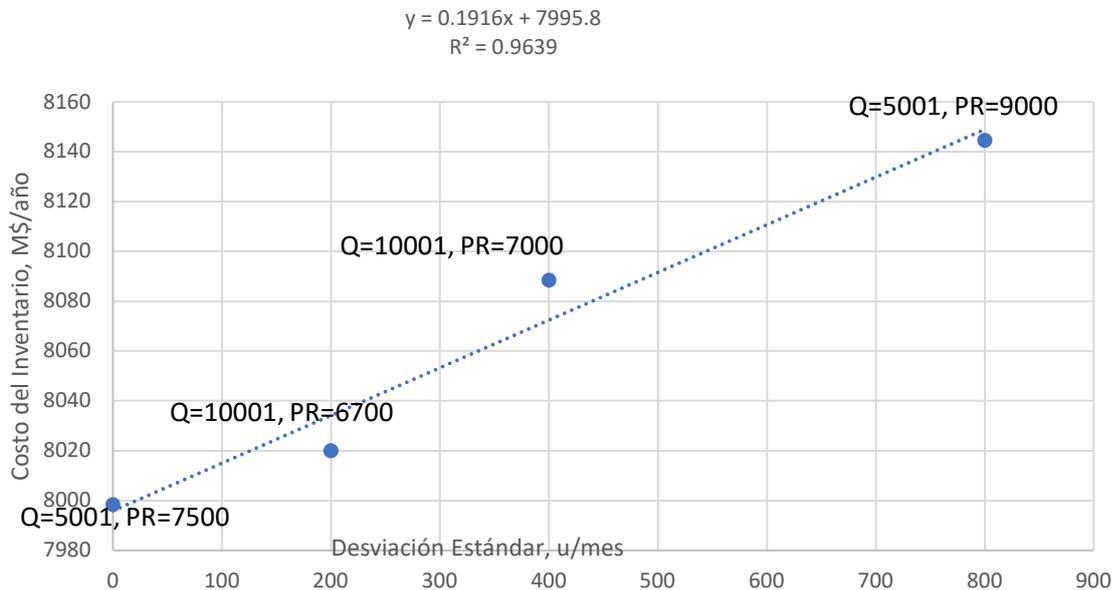
En la Figura se han agregado los valores de Q y PR, para los cuales se ha dado el costo óptimo, que en este caso para alfa igual a cero han sido 5001 y 7200 respectivamente, mientras que en los puntos de alfa igual a 1 y 2, Q ha sido 10001 y PR 6700 y en el punto donde alfa vale cinco, Q sigue en 10001, y PR subió a 7200.

Esto hace ver que, al incrementarse Alfa, que es parte del costo de faltantes, la cantidad de pedido y el costo del inventario se incrementan, y Q se mantiene en niveles de 5001 o 10001, dado que son los límites inferiores de volumen de pedido para los cuales el proveedor de los artículos brinda un menor precio unitario. En cuanto al punto de reorden se puede comentar que ha oscilado en un rango entre 6700 y 7200 artículos, sin mostrar ninguna tendencia.

Si se hace algo similar respecto a variar la desviación estándar de la demanda del artículo, se obtienen los resultados que se presentan en la figura 2, en la que puede observarse que el costo se incrementa directamente con la desviación estándar de la demanda, lo cual sería de esperarse, ya que, al haber mayor variabilidad de la demanda, esto impacta negativamente al costo causando su incremento. Incluso se presenta la ecuación de regresión lineal que tiene un valor del coeficiente de determinación de 96.39% y que señala que, por cada unidad de aumento en la desviación, el costo del inventario se eleva en 192 pesos anuales.

Figura 2

Cambio del costo del inventario con la desviación estándar de la demanda



Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se han colocado en la Figura los valores de Q y PR que se han logrado para obtener el costo óptimo, ubicándose Q entre 5001 y 10001 artículos y el PR entre 6700 y 9000 unidades.

CONCLUSIONES

Dado el esquema de costos en función del volumen de pedido, en este caso la cantidad de pedido se ha ubicado en los límites inferiores de mayor volumen, es decir, en 5001 y 10001 artículos, ya que es con este volumen mínimo donde se obtiene descuento en el costo unitario de cada artículo, lo que compensa el mayor costo de mantenimiento del inventario.

Como era de esperarse, al aumentar Alfa, que implica un mayor costo de faltantes, el costo del inventario aumenta, así como la cantidad de pedido, que tiende a pasar a 10001 artículos a partir de valores de alfa mayores de uno, aunque no impacta al punto de reorden.

Con mayor desviación estándar de la demanda de artículos, el costo del inventario se incrementa de manera lineal, lo cual concuerda con los hallazgos de Ghafour (2018), Dey et al. (2021), Izar-Landeta et al. (2016), Xiaoming (2020), He et al. (2011) y King (2011) y contrario a lo que afirman Dullaert y Zamparini (2013).

También se puede señalar que, con mayor desviación estándar, el punto de reorden se incrementa, como una medida de contrarrestar la mayor variabilidad de la demanda, en consonancia con lo que señalan Kanet et al. (2010).

Como sea, cuando se trata de mejorar un sistema de inventarios, al aplicar los modelos clásicos, como ha sido el caso presente con la simulación, se obtienen los valores de la cantidad de pedido y el punto de reorden que minimizan el costo del inventario, que incluye los descuentos por volumen al hacer pedidos de mayor cuantía. Dadas las condiciones del caso ilustrativo, se ha llegado al cumplimiento del objetivo de minimizar el costo incurrido en el inventario, que suele ser una de las metas más buscadas por las empresas comerciales, a fin de mejorar su rentabilidad.

Entre las limitantes de este estudio está que se ha centrado en una sola distribución de probabilidad para los casos de la demanda y el tiempo de entrega del proveedor, lo que da lugar a estudiar en un futuro casos similares con otras distribuciones de probabilidad, o incluso con una distribución libre, lo cual también se puede abordar con la metodología de la simulación, la cual por lo general brinda buenos resultados.

REFERENCIAS

- Arani, M., Abdolmaleki, S., Maleki, M., Momenitabar, M. y Liu, X. (2021). A simulation-optimization technique for service level analysis in conjunction with reorder point estimation and lead-time consideration: a case study in sea port. *Advances in Parallel & Distributed Processing, and Applications: Proceedings from PDPTA'20, CSC'20, MSV'20, and GCC'20*. Springer International Publishing, 839-858. doi: 10.1007/978-3-030-69984-0_61.
- Barron, Y. y Baron, O. (2020). The residual time approach for (Q, r) model under perishability, general lead times, and lost sales. *Mathematical Methods of Operations Research*, 92(3), 601-648. doi: 10.1007/s00186-020-00717-7.
- Bhavsar, V. R. y Sinha, B. (2019). Selection of reorder point when demand is variable and also lead time is variable with different significance level to demand deviation & lead deviation. *International Journal of Management (IJM)*, 10(6), 235-238.
- Braglia, M., Castellano, D., Marrazzini, L. y Song, D. (2019). A continuous review, (Q, r) inventory model for a deteriorating item with random demand and positive lead time. *Computers & Operations Research*, 109, 102-121. doi: 10.1016/J.COR.2019.04.019.
- Chakraborty, D. y Bhattacharje, D., (2019). Effect of fraction of demand backordered in inventory management while obtaining optimum order quantity and reorder point. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 41(6), 1376-1380. doi: 10.14456/sjst-psu.2019.174.

- Dey, B. K., Bhuniya, S. y Sarkar, B. (2021). Involvement of controllable lead time and variable demand for a smart manufacturing system under a supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 184(C), 115464. doi: 10.1016/j.eswa.2021.115464.
- Di Nardo, M., Clericuzio, M., Murino, T. y Sepe, C. (2020). An economic order quantity stochastic dynamic optimization model in a logistic 4.0 environment. *Sustainability*, 12(10), 1-25. <https://doi.org/10.3390/su12104075>.
- Dullaert, W. y Zamparini, L., (2013). The impact of leadtime reliability in freight transport: A logistics assessment of transport economics findings. *Transportation Research Part E*, 49(1), 190-200. doi: 10.1016/j.tre.2012.08.005.
- Efrilianda, D. A., Mustafid, y Isnanto, R. (2018). Inventory control systems with safety stock and reorder point approach. *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*. IEEE, 844-847. doi: 10.1109/ICOIACT.2018.8350766.
- Ghafour, K. M. (2018). Optimising safety stocks and reorder points when the demand and the lead-time are probabilistic in cement manufacturing. *International Journal of Procurement Management*, 11(3), 387-398.
- Glock, C. H. y Ries, J. M. (2013). Reducing lead time risk through multiple sourcing: the case of stochastic demand and variable lead time. *International Journal of Production Research*, 51(1), 43-56. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.644817>.
- He, X. J., Xu, X. y Hayya, J. C. (2011). The effect of lead-time on the supply chain: The mean versus the variance. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10(01), 175-185. <https://doi.org/10.1142/S0219622011004270>.
- Heavyside, M., Mulyawan, B. y Sutrisno, T. (2020). Determination of minimum stock on system retail using forecast, economic order quantity and reorder point methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1007(1), 012180. doi: 10.1088/1757-899X/1007/1/012180.
- Inprasit, T. y Tanachutiwat, S. (2018). Reordering point determination using machine learning technique for inventory management. *2018 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST)*. IEEE, 1-4. doi: 10.1109/ICEAST.2018.8434473.
- Izar-Landeta, J. M., Ynzunza-Cortés, C. B., Castillo-Ramírez, A. y Hernández-Molinar, R. (2016). Estudio comparativo del impacto de la media y varianza del tiempo de entrega y de la demanda en el costo del inventario. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XVII(3), 371-381. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.007>.
- Izar-Landeta, J. M., Izar-Tenorio, J. y Hernández-Molinar, R. (2018). Calculation of the reorder point for items with exponential and Poisson distribution of leadtime demand. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 12-21. <https://www.ijerd.com/paper/vol14-issue1/Version-2/C140121221.pdf>
- Johansen, S. G. (2019). Emergency orders in the periodic-review inventory system with fixed ordering costs and stochastic lead times for normal orders. *International Journal of Production Economics*, 209, 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.017>.

- Kanet J. J., Gorman M. F. y Stoblëin M. (2010). Dynamic planned safety stocks in supply networks. *International Journal of Production Research*, 48(22), 6859-6880.
- King P. L. (2011). Crack the code. Understanding safety stock and mastering its equations. *APICS Magazine*, 21(4), 33-36. https://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/King_SafetyStock.pdf
- Lukiman, A. D. y Richard, R. (2020). Analytical Hierarchy Process (AHP), Economic Order Quantity (EOQ), and Reorder Point (ROP) in Inventory Management System. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 11(1), 29-34, <https://doi.org/10.21512/comtech.v11i1.5746>.
- Malik, A. I. y Sarkar, B. (2018). A distribution-free model with variable setup cost, backorder price discount and controllable lead time. *DJ Journal of Engineering and Applied Mathematics*, 4(2), 58-69. doi: 10.18831/djmaths.org/2018021006.
- Nobil, A. H., Sedigh, A. H. A. y Cárdenas-Barrón, L. E. (2020). Reorder point for the EOQ inventory model with imperfect quality items. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 1339-1343. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.03.004>.
- Saini, K. (2021). Reorder Point Intervention (ROP) for fast moving drugs at a local pharmacy. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 10(11), 1391-1396, doi: 10.20959/wjpr202111-21326.
- Sana, S. S., & Goyal, S. K., (2015). (Q,r,L) model for stochastic demand with lead-time dependent partial backlogging. *Annals of Operations Research*, 233(1), 401-410. doi: 10.1007/s10479-014-1731-2.
- Sevgen, A. y Sargut, F. Z. (2019). May reorder point help under disruptions? *International Journal of Production Economics*, 209(C), 61-69. doi: 10.1016/j.ijpe.2018.02.014.
- Shaikh, A. A., Khan, A. A., Panda, G. y Konstantaras, I. (2019). Price discount facility in an EOQ model for deteriorating items with stock-dependent demand and partial backlogging. *International Transactions in Operational Research*, 26(4), 1365-1395. <https://doi.org/10.1111/itor.12632>.
- Silver E. A. (2008). Inventory management: An overview, Canadian publications, practical applications and suggestions for future research. *Information Systems and Operations Research*, 46(1), 15-27. doi: 10.3138/infor.46.1.15.
- Sorooshian, S. y Jadidi, O., (2021). Supply Reorder Point in Response to Lead-Time Uncertain Demand. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 14(2), 59-60. doi: 10.25103/jestr.142.08.
- Sun, X. y Zhang, R. (2019). The single-manufacturer single-retailer integrated production-delivery lot sizing model with production capacity under stochastic lead time demand. *Procedia CIRP*, 83, 528-533. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.111>.
- Tahami, H., Mirzazadeh, A. y Gholami-Qadikolaei, A. (2019). Simultaneous control on lead time elements and ordering cost for an inflationary inventory-production model with mixture of normal distributions LTD under finite capacity. *RAIRO-Operations Research*, 53(4), 1357-1384. <https://doi.org/10.1051/ro/2019060>.

- Van-Kampen T. J., Van-Donk D. P. y Van-Der Z. D. (2010). Safety stock or safety lead time: coping with unreliability in demand and supply. *International Journal of Production Research*, 48(24), 7463-7481. <https://doi.org/10.1080/00207540903348346>.
- Wanti, L. P., Maharrani, R. H., Prasetya, N. W. A., Tripustikasari, E. y Ikhtiangung, G. N. (2020). Optimization economic order quantity method for a support system reorder point stock. *International Journal of Electrical and Computing Engineering*, 10(5), 4992-5000. doi: 10.11591/ijece.v10i5.pp4992-5000.
- Xiaoming, L. I. (2020). Valuing lead-time and its variance in batch-ordering inventory policies. *International Journal of Production Economics*, 228(C), [107731]. doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107731.
- Yassine, N. y El-Rabih, S. (2019). Assembling components with probabilistic lead times. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 521, 012013. doi: 10.1088/1757-899X/521/1/012013.