

# Estudio comparativo de la aplicación de 6 modelos de inventarios para decidir la cantidad y el punto de reorden de un artículo

Juan Manuel Izar<sup>1</sup> y Héctor Méndez<sup>1</sup>

## Resumen

Este trabajo presenta la aplicación de 6 modelos de inventarios para obtener la cantidad de pedido y el punto de reorden para el caso de cubetas de pintura con demanda y tiempos de entrega discretos, aleatorios, independientes y conocidos, considerando descuentos en el precio de compra por adquirir mayores volúmenes.

Los modelos utilizados han sido el de la cantidad económica de pedido (EOQ), el de un solo lote (USL), el método Híbrido (MH), el algoritmo Silver-Meal (SM), el Wagner-Within (WW) y Simulación (S).

Los mejores resultados se han obtenido con Simulación y el método Híbrido, pues han resultado con los menores costos del inventario y llevan a la misma decisión: de pedir 301 cubetas de pintura.

El caso presentado es un buen ejemplo ilustrativo de la manera de administrar correctamente el inventario.

**Palabras Clave:** Cantidad de pedido, Punto de reorden, Descuentos por volumen, Costos del inventario, Existencias de seguridad.

## Abstract

This paper presents the application of six inventory models for order quantity and reorder point related to paint buckets with discrete demand and delivery times, random, independent and known, considering wholesale discounts.

The models used were: economic order quantity (EOQ), single batch (SB), hybrid method (HM), Silver-Meal algorithm (SM), Wagner-Within (WW) and Simulation (S).

The best results were obtained with the Simulation and Hybrid methods, since they had the lowest inventory costs and lead to the same decision: order 301 paint buckets.

This case is a good example illustrating properly inventory management.

**Keywords:** Order quantity, Reorder point, wholesale discounts, Inventory costs, Safety Stoc.

## Introducción

Este estudio tiene como fin comparar 6 modelos para definir la cantidad de pedido y el punto de reorden, evaluando los costos incurridos por el manejo del inventario, en el caso de un negocio de venta de pintura, con demanda discreta, independiente, aleatoria y conocida, bajo un sistema de revisión periódica, con un tiempo de entrega aleatorio, independiente y conocido, basado en datos estadísticos del pasado, con una escala de precios del proveedor que ofrece descuentos por comprar mayores volúmenes. Los costos que se consideran son: colocar nuevos pedidos, mantener el inventario, costo de faltantes y la compra misma de los artículos, que aun cuando no es un costo del inventario, al haber descuentos por adquirir pedidos de mayor volumen, se considera dentro del análisis económico, ya que el ahorro en la compra puede compensar el aumento en el costo de inventario.

### Revisión de la literatura

La eficiente administración de inventarios sigue siendo una actividad importante en las corporaciones de esta era, ya que cumple con varias funciones, entre las cuales se cuentan las siguientes (Chase et al., 2009):

- Mantener la independencia entre operaciones. Al tener inventario habrá flexibilidad en las operaciones, que en un momento requerido pueden retrasarse y la demanda se cubre con las existencias que haya.
- Cubrir la incertidumbre de la demanda. Al tener una demanda aleatoria, es mejor que ésta se cubra con lo que haya en inventario y que no se llegue a la situación de tener faltantes.
- Dar flexibilidad a la programación de la producción. En caso que hubiera fallas en la maquinaria, productos defectuosos o partes no disponibles, tener inventario daría la posibilidad de reprogramar la producción.
- Protección contra demoras en el tiempo de entrega del proveedor. Al haber inventario, éste puede permitir atender la demanda en caso que el proveedor se retrase en la entrega de un nuevo pedido.
- Aprovechar descuentos de parte del proveedor. Es una práctica habitual en los negocios que los proveedores ofrezcan descuento por pedir mayores volúmenes, los cuales pueden ser aprovechados por las empresas.

Hansen y Mowen (2009) agregan además la posibilidad de optimizar los costos del inventario y protegerse contra futuros incrementos de precios.

Los inventarios usualmente representan una partida importante del activo de las organizaciones, por lo que deben ser bien administrados, de modo que cumplan sus funciones a un costo mínimo, ya que un inventario muy pequeño daría lugar a eventuales faltantes, que ocasionen paros en la producción o pérdidas de ventas,

mientras que en el caso contrario, su costo se incrementará por su mantenimiento, que muchas veces requiere de instalaciones especiales, además del costo de oportunidad por tener capital ocioso y el riesgo por deterioro u obsolescencia, ya que en esta época el ciclo de vida de los productos es menor, debido a los avances de la tecnología.

La correcta administración del inventario implica tener en cuenta un gran número de factores, entre los cuales pueden citarse (Silver, 2008):

- El número de artículos que deben tenerse en inventario, que puede ir de cientos a millares.
- El patrón de demanda de los artículos, que puede ser determinístico o aleatorio, conocido o desconocido, dependiente o independiente.
- Las opciones de embarque de los artículos con que cuenten los proveedores.
- Si el almacenamiento se hace en un solo lugar o en varios.
- Los mecanismos de entrega al cliente.
- Restricciones, que pueden ser de presupuesto, de los proveedores, del nivel deseado de servicio, del mercado y otras.

El objetivo fundamental del inventario es absorber las diferencias que se presenten entre la oferta y la demanda de un artículo, es decir, que si un establecimiento no puede conocer de antemano la demanda de un artículo, las variaciones que haya serán absorbidas por el inventario, de modo que no haya faltantes.

La administración del inventario requiere tomar tres decisiones básicas (Silver, 2008): (1) ¿cuándo debe revisarse el sistema del inventario? (2) ¿cuánto debe pedirse al hacer un nuevo pedido? y (3) ¿cuándo es el momento de hacer el nuevo pedido?

La mayoría de los modelos de inventarios buscan varios objetivos, algunos de los cuales podrían contraponerse entre sí. Entre estos se cuentan los siguientes (Silver, 2008):

- Minimización de los costos incurridos en el manejo del inventario.
- Maximización de los beneficios económicos, incluyendo ahorros por descuentos.
- Maximización de la tasa interna de retorno de la inversión en inventarios.
- Determinar una solución factible para la administración del inventario.
- Asegurar la flexibilidad en el manejo de un futuro incierto.

De estos el más usual es el primero y es el que buscan la mayoría de los modelos de administración del inventario.

Hay numerosos estudios efectuados para determinar la cantidad y el momento de hacer un nuevo pedido, de los cuales se mencionan algunos de los que se consideran más relevantes.

Bustos-Flores y Chacón-Parra (2012) presentan la aplicación de varios modelos de inventarios para el caso de 2 artículos del departamento de publicaciones de la Universidad de los Andes en Venezuela. Los modelos aplicados han sido el de un solo lote, lote por lote, la cantidad económica de pedido (EOQ), el algoritmo de Wagner-Within, el algoritmo de Silver-Meal, el costo unitario mínimo y el modelo de balanceo

de periodo fragmentado para obtener el costo del inventario. Concluyen que el método usado, que es el de un solo lote, resulta con el costo más alto, lo cual es un claro indicio de que la política seguida para administrar el inventario no es la más apropiada. El algoritmo de Wagner-Within ha resultado con el costo mínimo del inventario.

Babai y colaboradores (2009) utilizan un modelo dinámico para obtener el punto de reorden considerando demanda no estacionaria y tiempo de adelanto incierto para un nivel de servicio dado. Al ser tanto la demanda como el tiempo de reorden variables, la tarea se complica. Encuentran que el desempeño del inventario para cumplir el nivel de servicio deseado, es similar con este modelo que el obtenido con un modelo estático, pero en lo que hay una mejora considerable es en el costo del inventario, el cual se ve disminuido, lo que hace al modelo propuesto una técnica útil para la correcta administración del inventario.

### ***Costos del inventario***

La administración del inventario implica varios costos, entre los que figuran:

- 1. Adquirir los bienes.** La mayoría de los académicos coinciden que en este rubro se incluyan impuestos y costos del transporte. Otro aspecto a tener en cuenta son las condiciones de crédito del proveedor (Horngren et al., 2007).
- 2. Colocar nuevos pedidos.** Deben incluirse todas las actividades que se realizan al hacer un nuevo pedido, que inician con la preparación de la orden de compra y finalizan con recibir y colocar el pedido en el almacén. Entre las actividades usuales están la preparación y emisión de la orden de compra, timbres postales, llamadas telefónicas, rastreo del pedido, recepción de los artículos, inspección, revisión de la factura, realizar el pago y la contabilidad del proceso. En este trabajo se considera este costo constante en cada pedido.
- 3. Conservar los bienes en el inventario.** En este rubro deben incluirse todos los aspectos relacionados al almacenamiento del inventario, tales como espacios, obsolescencia, deterioro, pérdidas, mermas, refrigeración, iluminación, calefacción, protección contra el sol y la humedad, seguros y otros. También debe considerarse el costo de oportunidad por tener una inversión ociosa. Este rubro suele variar de 15 a 45% anual del valor del inventario.
- 4. Faltantes.** Es el costo más difícil de evaluar y aun cuando es un costo de oportunidad, por lo que se deja de ganar al no tener el bien disponible cuando lo pide el cliente, debe incluirse en el análisis económico. Algunos académicos sugieren agregar la pérdida potencial de ventas futuras, al no contar con la buena voluntad del cliente (Horngren et al., 2007). En este trabajo se considera que el costo de cada faltante es lo que se deja de ganar al no tener el bien en existencia.

Otros autores señalan que deben incluirse otros costos, pero en este estudio sólo se consideran los 4 antes mencionados.

## Modelos utilizados

Este trabajo calcula la cantidad de pedido y el punto de reorden con 6 modelos de inventarios: El de la cantidad económica de pedido (EOQ), el de un solo lote anual (USL), el método Híbrido (MH), el algoritmo Silver-Meal (SM), el Wagner-Within (WW) y Simulación (S).

Cada uno de ellos se describe brevemente y luego se aplica para calcular los costos del inventario para el caso de un artículo.

### Modelo de la Cantidad económica de pedido (EOQ)

Es el modelo tradicional de inventarios, ya que data de principios del siglo pasado. Considera los costos de colocar pedidos y conservar los artículos en el inventario, de modo que la cantidad de pedido sea aquella que minimiza la suma de ambas partidas, tal y como lo describe la ecuación de Wilson:

$$Q = \sqrt{\frac{2C_p D}{C_a M}} \quad (1)$$

Donde:

$C_p$  = Costo de colocar cada pedido, \$/pedido

$D$  = Demanda anual de artículos, unidades/año

$C_a$  = Costo de cada artículo, \$/unidad

$M$  = Fracción anual de conservación en el inventario

$Q$  = Cantidad económica de pedido, unidades/pedido

En esta ecuación no se consideran los descuentos en el costo unitario de cada bien, lo que en la realidad sucede, ya que los precios varían en función de la cantidad que se pida, de modo que si se hace un pedido mayor, el costo unitario de cada bien disminuye. Con esto el cálculo de  $Q$  se hace a prueba y error y se define con las opciones de precios existentes, ya que si los ahorros por comprar mayores volúmenes son de mayor cuantía que el incremento del costo del inventario, habrá que aprovecharlos. Otra consideración al aplicar este modelo es que el punto de reorden se ubica en su valor promedio resultante de la demanda en el tiempo de entrega.

El costo anual, incluyendo la compra de las mercancías, es:

$$C_t = C_p \left( \frac{D}{Q} \right) + C_a M \left( \frac{Q}{2} \right) + C_f N_f \left( \frac{D}{Q} \right) + C_a D \quad (2)$$

Donde:

$C_f$  = Costo de cada faltante, \$/faltante

$N_f$  = Número promedio de faltantes, Faltantes/pedido

En esta ecuación el primer término es el costo de hacer pedidos, el segundo incluye el mantenimiento del inventario, el tercero corresponde al costo de faltantes y el último es la compra de los artículos, todos referidos a una base anual.

El costo de cada faltante es lo que se deja de ganar por no contar con el bien.

Por su parte el número promedio de faltantes se obtiene con la estadística de la demanda del tiempo de entrega.

### Modelo de un solo lote (USL)

Este modelo es muy simple, ya que considera que se hace un solo pedido por el volumen anual, con lo cual la cantidad de pedido es  $D$  y el costo anual del inventario es:

$$C_t = C_p + CaM\left(\frac{Q}{2}\right) + CaQ \quad (3)$$

### Método Híbrido (MH)

Este método es una combinación que analiza para el caso de una demanda discreta y probabilística de artículos, las combinaciones de valores de  $Q$  y PRP, para seleccionar aquella que lleve al costo mínimo total de manejo del inventario (Izar et al., 2012). Este costo se calcula con la ecuación siguiente:

$$C_t = C_p\left(\frac{D}{Q}\right) + CaM\left(B + \frac{Q}{2}\right) + C_fNf\left(\frac{D}{Q}\right) + CaD \quad (4)$$

La que es muy similar a la ecuación 2, incluyendo como variable adicional a  $B$ , que es el valor del stock de seguridad, el que se define variando el punto de reorden, de modo que se establezca en un valor que lleve al costo mínimo total.

### Algoritmo Silver-Meal (SM)

Es un método heurístico que define el tiempo y la cantidad de pedido en función del costo promedio del periodo, el que incluye los costos de hacer nuevos pedidos y mantener el inventario (Taha, 2004). El algoritmo no prevé el costo de faltantes, ni la inclusión de descuentos por comprar mayor volumen, hecho que en este trabajo sí se considera.

El costo promedio de hacer un pedido en el periodo  $m$  se obtiene con la ecuación siguiente:

$$\text{Costo}_m = \frac{1}{m} [Cp + Ca(D_1 + D_2 + \dots + D_m) + CaM(D_{m-1} + 2D_{m-2} + \dots + (m-1)D_1)] \quad (5)$$

Donde:

$\text{Costo}_m$  = Costo promedio del inventario en el periodo  $m$ , \$/periodo

$D_i$  = Demanda de artículos en el periodo  $i$ , artículos/periodo

Como puede verse en la ecuación, el costo incluye colocar pedidos, adquirir los artículos -ya que el costo unitario varía en función de la cantidad pedida- y mantener el inventario.

El algoritmo inicia calculando el costo del primer periodo y prosigue con los periodos siguientes, hasta que el costo promedio del último periodo sea superior al inmediato anterior, lo que indica que el costo del penúltimo periodo ha resultado el mínimo.

El costo anual será la suma de los costos de los periodos resultantes en el año.

### Algoritmo Wagner-Within (WW)

Esta es una metodología que utiliza la programación dinámica para llegar a la opción de menor costo del inventario.

Para cada periodo se evalúa el costo de colocar un nuevo pedido, sumado al costo de la mejor posibilidad del periodo anterior, la que se compara con las opciones restantes, que llegan hasta la de colocar un pedido por toda la demanda acumulada de bienes hasta el periodo actual. Una vez costeadas todas las opciones, se elige la de menor costo, la que se guarda para las etapas subsecuentes. Al llegar al último periodo, se define la estrategia de costo mínimo durante todo el lapso bajo análisis, que suele ser un año (Taha, 2004).

La ecuación para calcular el costo de cada opción en cada periodo es:

$$\text{Costo}_{m,i} = \text{Costo}_i^* + Cp + Ca(D_m + D_{m-1} + \dots + D_{i+1}) + CaM \sum_{k=i+1}^m (k-i-1)D_k \quad (6)$$

Dónde:

$\text{Costo}_{m,i}$  = Costo para el periodo  $m$  con la mejor opción del periodo  $i$

$\text{Costo}_i^*$  = Costo mínimo del periodo  $i$

Conforme a la programación dinámica, de las opciones para el periodo  $m$ , se guarda la que resulte con el costo mínimo para pasar entonces al periodo siguiente. Este proceso se continúa hasta llegar al periodo final, momento en que se tendrá la política de pedidos del costo mínimo.

Al igual que en el método anterior, en este estudio no se considera el costo de faltantes, pero sí el de compra de los artículos, a fin de incluir los descuentos por volumen.



## Simulación (S)

En este caso tanto la demanda como el tiempo de entrega se manejan de manera aleatoria y se hace una corrida de simulación bajo la metodología de Montecarlo, en hoja de cálculo, para obtener los valores de Q y PRP que minimicen el costo del inventario, el cual se estima con la ecuación 4.

Es el método que se aproxima más a la situación real, siempre y cuando la simulación se haga con un número suficiente de valores en su corrida.

A continuación se aplican estas metodologías a un caso ilustrativo

### *Aplicación al caso ilustrativo de un negocio de venta de pinturas*

Un negocio vende pinturas en cubetas de 20 litros con una demanda estacional mensual conforme a la siguiente distribución de probabilidad:

Tabla 1. Demanda mensual de cubetas de pintura.

Mes	Demanda
Enero	120
Febrero	136
Marzo	155
Abril	140
Mayo	180
Junio	230
Julio	250
Agosto	245
Septiembre	220
Octubre	180
Noviembre	165
Diciembre	144
Total Anual	2165

El proveedor ofrece la siguiente escala de precios:

Tabla 2. Precios ofertados por el proveedor.

Volumen de compra	Costo, \$/cubeta
1 – 180	740.00
181 – 300	720.00
> 300	705.00

Los tiempos de entrega del proveedor varían según la siguiente distribución de probabilidad:

**Tabla 3.** Tiempos de entrega del proveedor.

Tiempo de entrega, días	Probabilidad
5	0.22
6	0.56
7	0.22

El negocio vende la cubeta de pintura a \$1080, su costo de hacer un nuevo pedido es \$1500, independiente del tamaño de pedido y mantener en el inventario cuesta 1.4% mensual.

*Solución:*

Con esta información se hacen los cálculos del costo del inventario aplicando los 6 modelos antes mencionados: EOQ, USL, MH, SM, WW y S.

El costo de cada faltante, se toma en cuenta en los modelos EOQ, MH y S y es lo que se deja de ganar por no tener el bien disponible. En los 3 modelos restantes (USL, SM y WW) no se consideran faltantes.

*Modelo EOQ*

Para este caso se toma la cantidad de pedido obtenida con la ecuación de Wilson y que sea válida, es decir, que se haya calculado con el costo del artículo aplicable para el volumen de unidades pedidas, dicha Q resulta en 232 cubetas de pintura, para este valor el costo de cada faltante es \$360 y si el punto de reorden se ubica en el valor promedio de la demanda en el tiempo de entrega, que es 36.08 cubetas, el número de faltantes por ciclo es:

$$Nf = (7.92)(0.0833) + (9.92)(0.0833) + (12.92)(0.0833) + (13.92)(0.0833) = 3.722$$

Y el costo al aplicar la ecuación (2) es:

$$Ct = 1500 \left( \frac{2165}{232} \right) + (720)(0.014)(12) \left( \frac{232}{2} \right) + (360)(3.722) \left( \frac{2165}{232} \right) + (720)(2165) \\ = 1,599,333\$ / \text{año}$$

Esta opción debe compararse con la de colocar Q en su valor mínimo a partir del cual aplica el menor costo de la cubeta, que es 301 cubetas, cuyo costo total es:

$$Ct = 1500 \left( \frac{2165}{301} \right) + (705)(0.014)(12) \left( \frac{301}{2} \right) + (375)(3.722) \left( \frac{2165}{301} \right) + (705)(2165) \\ = 1,564,978\$ / \text{año}$$

Que al resultar menor, hace que se coloque la cantidad de pedido en 301 cubetas cuando el nivel del inventario baje a 36 unidades.

#### *Modelo USL*

En este método se considera un solo pedido anual y se estiman los costos incurridos en el inventario, sin considerar faltantes. Al aplicar la ecuación (3), el costo es:

$$C_t = 1500 + (705)(0.014)(12) \left( \frac{2165}{2} \right) + (705)(2165) = 1,656,036\$ / \text{año}$$

#### *Método Híbrido*

En el método MH se toma la mejor opción de las combinaciones de valores de PRP y Q, seleccionando la que resulte con el menor costo. Los valores de Q y PRP que minimizan el costo son 301 y 54 cubetas respectivamente, para los cuales las existencias de seguridad (B) son 17.92 cubetas. Al aplicar la ecuación (4), el costo es:

$$C_t = 1500 \left( \frac{2165}{301} \right) + (705)(0.014)(12) \left( 17.92 + \frac{301}{2} \right) + (375)(0.159) \left( \frac{2165}{301} \right) + (705)(2165) \\ = 1,557,491\$ / \text{año}$$

#### *Algoritmo Silver-Meal*

Para cada periodo se aplica el algoritmo de pedir para uno, dos o más periodos, deteniéndose al momento que el costo promedio del siguiente periodo se incrementa, estableciéndose entonces hacer un pedido en el periodo para el cual el costo promedio haya sido menor.

Esto se ilustra para el caso del primer periodo, en el cual si se hace un pedido para satisfacer el primer mes por 120 unidades, a un costo unitario de \$740, el costo del periodo es:

$$C_1 = 1500 + (120)(740) = \$90,300$$

Si se hace el pedido para los dos primeros meses, por una cantidad de 256 cubetas, a un costo unitario de \$720, el costo promedio por periodo es:

$$C_2 = \frac{1}{2} [1500 + (256)(720) + (720)(0.014)(136)] = \$93,595$$

Que al ser mayor, se detienen los cálculos, debiendo hacer un pedido sólo para el primer mes.

Si se repiten estos cálculos para los meses siguientes, se obtienen los resultados de la tabla 4.

**Tabla 4. Resultados para cada periodo de la aplicación del algoritmo.**

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	...	12
$Q_1$	120									
Ca	740									
$Ct_1$	\$90,300									
$Q_2$	256	136								
Ca	720	740								
$Ct_2$	\$93,595	\$102,140								
$Q_3$		291	155							
Ca		720	740							
$Ct_3$		\$106,291	\$116,200							
$Q_4$			295							
Ca			720							
$Ct_4$			\$107,656							
$Q_5$			475		180					
Ca			705		740					
$Ct_5$			\$113,770		\$134,700					
$Q_6$					410	230				
Ca					705	720				
$Ct_6$					\$146,410	\$167,100				
$Q_7$						480	250			
Ca						705	720			
$Ct_7$						\$171,184	\$181,500			
$Q_8$							495			
Ca							705			
$Ct_8$							\$176,447			
$Q_9$							715			
Ca							705			
$Ct_9$							\$170,779			
$Q_{10}$							895			
Ca							705			
$Ct_{10}$							\$161,141			
$Q_{10}$							1060			
Ca							705			
$Ct_{11}$							\$153,481			
$Q_{12}$							1204			
Ca							705			
$Ct_{12}$							\$146,005			

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se muestran sombreadas las opciones resultantes de pedidos:

**Tabla 5.** Opciones de pedido resultantes.

Mes	Cantidad pedida	Costo de mantenimiento del inventario
1	120	\$622
2	136	\$704
3	295	\$2,974
5	180	\$932
6	230	\$1,159
7	1204	\$35,651
Totales	2165	\$42,042

Fuente: **Elaboración propia.**

Se hacen 6 pedidos durante el año, para un costo por este rubro de \$9,000 y la adquisición cuesta \$1,549,460, ya que algunos pedidos aprovechan el descuento por volumen, pero los que se han hecho sólo para un mes, como es el caso de los meses 1, 3 y 5, no lo hacen, razón por la cual este rubro se ha elevado. Esto lleva a un costo total de \$1,600,502 anuales.

#### *Algoritmo Wagner-Within*

Al aplicar esta metodología considerando los costos de los artículos, se producen los resultados de la tabla 3. A continuación se ilustra la manera de obtener dichos valores para el mes 3:

Para el mes 3 hay 3 posibilidades, que son: a) La mejor opción del mes 2, más pedir para el mes 3; b) La mejor opción del mes 1, más pedir para los meses 2 y 3; y c) Pedir para los 3 meses desde el inicio.

El costo de la primera opción es la suma de la mejor opción del mes 2, más el costo de hacer el pedido para el tercer mes por 155 cubetas, más el costo de compra de los artículos:

$$\text{Costo}_{3,2} = 187,191 + 1,500 + (155)(740) = \$303,391$$

El costo de la segunda opción es la suma de la mejor opción del mes 1, más colocar un pedido para los meses 2 y 3 por 291 cubetas, más la compra de los artículos y mantener en el inventario la demanda del tercer mes:

$$\text{Costo}_{3,1} = 90,300 + 1,500 + (291)(720) + (155)(0.014)(720) = \$302,882$$

Finalmente el costo de la tercera opción es la suma de colocar un pedido para los 3 meses por 411 cubetas, más la compra de las mismas y el mantenimiento en inventario de la demanda del mes 2 por un mes y la demanda del tercer mes durante 2 meses:

$$\text{Costo}_{3,0} = 1,500 + (411)(705) + (136)(0.014)(705) + (2)(155)(0.014)(705) = \$295,657$$

Que ha resultado ser la mejor opción y por tanto se guarda para los cálculos de las siguientes etapas como la mejor opción del tercer mes.

**Tabla 6. Resultados en cada periodo con el algoritmo WW.**

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q	120	136	155	140	180	230	250	245	220	180	165	144
Ca	740	740	740	740	740	720	720	720	720	740	740	740
Mes 1	90.300,00	192.440,00	303.390,88	400.757,02	533.202,42	691.633,62	872.723,82	1.044.801,12	1.204.016,97	1.333.097,52	1.452.450,72	1.552.811,07
Q		256	291	295	320	410	480	495	465	400	345	309
Ca		720	720	720	705	705	705	705	705	705	705	705
Mes 2		187.190,88	302.882,40	402.502,08	524.533,62	691.322,52	866.901,12	1.044.116,97	1.198.397,52	1.329.393,57	1.444.751,07	1.549.617,00
Q			411	431	475	550	660	725	715	645	565	489
Ca			705	705	705	705	705	705	705	705	705	705
Mes 3			295.657,02	399.948,45	528.500,88	691.223,82	872.507,52	1.044.462,42	1.203.559,77	1.328.850,72	1.448.975,67	1.549.113,63
Q				551	611	705	800	905	945	895	810	709
Ca				705	705	705	705	705	705	705	705	705
Mes 4				398.502,42	532.178,25	697.461,18	874.876,32	1.052.486,97	1.206.076,62	1.335.789,57	1.450.061,37	1.554.759,51
Q					731	841	955	1045	1125	1125	1060	954
Ca					705	705	705	705	705	705	705	705
Mes 5					532.508,82	703.408,65	883.581,18	1.057.273,92	1.216.272,57	1.340.083,02	1.458.628,77	1.557.266,49
Q						961	1091	1200	1265	1305	1290	1204
Ca						705	705	705	705	705	705	705
Mes 6						706.009,32	891.996,15	1.068.396,93	1.223.230,92	1.352.055,57	1.464.550,77	1.567.255,17
Q								1211	1336	1420	1445	1470
Ca								705	705	705	705	705
Mes 7							897.064,32	1.079.230,05	1.236.525,33	1.360.790,52	1.478.151,87	1.574.598,45
Q								1456	1556	1600	1610	1614
Ca								705	705	705	705	705
Mes 8								1.086.716,37	1.249.529,85	1.375.861,53	1.488.515,37	1.589.620,83
Q									1676	1736	1765	1754
Ca									705	705	705	705
Mes 9									1.259.187,57	1.390.642,65	1.505.214,93	1.601.405,61
Q										1856	1901	1909
Ca										705	705	705
Mes 10										1.402.076,97	1.521.624,60	1.619.526,45
Q											2021	2045
Ca											705	705
Mes 11											1.534.687,47	1.637.357,40
Q												2165
Ca												705
Mes 12												1.651.841,55
Mínimo	90.300,00	187.190,88	295.657,02	398.502,42	524.533,62	691.223,82	866.901,12	1.044.116,97	1.198.397,52	1.328.850,72	1.444.751,07	1.549.113,63

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se muestran sombreadas las opciones de pedidos, que son:

**Tabla 7. Opciones de pedido resultantes.**

Mes	Cantidad pedida	Costo de mantener el inventario
1	411	\$6,085
4	320	\$3,158
6	480	\$4,738
8	465	\$4,590
10	489	\$7,239
Totales	2165	\$25,810

Fuente: Elaboración propia.

Cabe aclarar que los costos de la tercera columna, no coinciden con los obtenidos al aplicar el algoritmo, ya que en éste no se utilizan las cantidades promedio de bienes en inventario y eso ocasiona algunas diferencias.

El costo de colocar los 5 pedidos es \$7,500 y la compra de las cubetas es de \$1,526,325, ya que todas se adquieren a \$705, dadas las cantidades pedidas.

Con esto el costo total de esta opción sin incluir faltantes, es de \$1,559,635 anuales.

### *Simulación*

Finalmente con la simulación, se estiman los costos anuales del inventario, con la demanda y el tiempo de reorden aleatorios.

Tras hacer un número suficiente de corridas, los valores mínimos del costo se han obtenido con una Q de 301 cubetas y un PRP de 50 unidades, con lo cual los costos anuales de colocar pedidos son \$10,800, mantener los bienes en el inventario de \$19,376, un costo por faltantes de \$370 y un monto de \$1, 526,330 en la compra, lo que lleva a un total de \$1,556,876.

La tabla 8 presenta de manera sintetizada los resultados obtenidos con cada método:

**Tabla 8.** Costos anuales obtenidos con cada método.

Método	Costo de Pedidos	Costo de Mantenimiento	Costo de Compra	Costo de Faltantes	Costo Total
EOQ	10,789	17,825	1,526,325	10,039	1,564,978
USL	1,500	128,211	1,526,325	0	1,656,036
MH	10,789	19,948	1,526,325	429	1,557,491
SM	9,000	42,042	1,549,460	0	1,600,502
WW	7,500	25,810	1,526,325	0	1,559,635
S	10,800	19,376	1,526,330	370	1,556,876

De la tabla se observa que los menores costos totales suceden con los modelos S y MH, mientras que el modelo USL es el más costoso, ya que su costo de mantenimiento es muy alto; el algoritmo WW ha producido un mejor resultado que el SM y el EOQ.

## **Conclusiones**

Los modelos resultantes con menor costo han sido Simulación y el método Híbrido, que ambos ubican la cantidad de pedido en 301 cubetas, pero difieren en el punto de reorden.

Con tal decisión se aprovecha el descuento en el costo unitario que ofrece el proveedor y en ambos casos hay un costo mínimo por la eventual aparición de faltantes.

Cabe mencionar que esta decisión depende en buena medida de los costos

unitarios de pedidos, mantenimiento, faltantes y por supuesto, de los descuentos ofrecidos por el proveedor.

Se puede observar que la decisión más costosa es la de pedir un solo lote al inicio de cada año, ya que con ello se evitan faltantes y el costo de colocar pedidos va a su valor mínimo, pero el mantenimiento del inventario se eleva, de modo que el costo total es el máximo de los 6 modelos comparados en este estudio.

El resultado obtenido con el algoritmo WW ha dado un costo menor que el SM y el EOQ, lo que es usual al aplicar estos modelos.

En cuanto al método Híbrido y la Simulación, ésta tiene la ventaja de manejar el problema más apegado a la realidad.

## Referencias bibliográficas

Babai, M Z., Syntetos, A. A., Dallery, Y., y Nikolopoulos, K., (2009). Dynamic re-order point inventory control with lead-time uncertainty: Analysis and empirical investigation, *International Journal of Production Research*, 47(9), 2461-2483.

Bustos-Flores, C. E., y Chacón-Parra, G. B., (2012). Modelos determinísticos de inventarios para demanda independiente: Un estudio en Venezuela, *Contaduría y Administración*, 57(3), 239-258.

Chase, R. B., Jacobs, F. R., Aquilano, y N. J., (2009). *Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros*, 12ª Edición, China: Mc Graw Hill.

Hansen, D. R., y Mowen, M. M., (2009). *Administración de Costos, Contabilidad y Control*, 5ª Edición, México: Cengage Learning.

Horngren, C. T., Datar, S. M., y Foster, G., (2007). *Contabilidad de Costos, Un enfoque gerencial*, 12ª Edición, México: Pearson Prentice Hall.

Izar, J. M., Ynzunza, C. B., y Sarmiento, R., (2012). Determinación del costo del inventario con el método Híbrido, *Conciencia Tecnológica*, 44, 30-35.

Silver, E. A., (2008). Inventory management: An overview, Canadian publications, practical applications and suggestions for future research, *Information Systems and Operations Research*, 46(1), 15-28.

Taha, H., (2004). *Investigación de Operaciones*, 7ª Edición, México: Pearson Prentice Hall.