

Modelo de Gestión de Compras basado en Inventarios por Demanda según Nivel de Servicio a partir de Pronósticos de Ventas

Jaime A ARANGO

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Bloque Q Campus La Nubia, Manizales, Colombia
jaarangom@unal.edu.co

Omar D CASTRILLÓN

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Bloque Q Campus La Nubia, Manizales, Colombia
odcastrillong@unal.edu.co

y

Jaime A GIRALDO

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Bloque Q Campus La Nubia, Manizales, Colombia
jaiagiraldog@unal.edu.co

RESUMEN

Este trabajo propone un modelo integrado de gestión de compras optimizando el nivel de inventarios. Se parte de un modelo de pronósticos por el algoritmo de Holt-Winters para establecer la demanda futura. Los niveles de inventario se determinan según el nivel de servicio deseado de acuerdo a la clasificación ABC de los productos. Se ajusta el pronóstico para el tiempo de aprovisionamiento previsto incrementado lo suficiente para que la probabilidad de que se cumpla sea igual al nivel de servicio deseado. Se aplica un modelo de inventarios por demanda probabilístico. La implementación del modelo en empresas comerciales y de servicios ha generado importantes ahorros en capital de trabajo y mejoras en los niveles de servicio. Se pudo demostrar que el modelo propuesto mejora el nivel de servicio con el mismo valor de los inventarios y reduce los rompimientos de inventario sin necesidad de incrementar el capital de trabajo invertido en los inventarios. Como línea de trabajo futuro, se recomienda adaptar el modelo a los entornos industriales.

Palabras Clave: Pronósticos, Inventarios, Compras, Nivel de Servicio, Holt-Winters.

1. INTRODUCCIÓN

En la dinámica actual de la industria y de las cadenas de suministro, la gestión de los inventarios ha pasado a ser un factor crítico de éxito, dado su notable impacto en las finanzas corporativas por el nivel de capital de trabajo que involucran y también por su incidencia en el servicio oportuno al consumidor. Cada día es más importante tener el inventario justo que permita servir las necesidades de los clientes sin aumentar demasiado la inversión requerida.

En el pasado, el modelo tradicional EOQ (Lote económico de pedido), que consideraba un equilibrio entre los costos de pedir y de almacenar, guiaba las decisiones de compra para muchas compañías. Hoy por hoy, los modelos tradicionales de cálculos de lote económico requieren una revisión en sus postulados iniciales, dado que las tecnologías de información y comunicaciones, la evolución de las cadenas de suministro y las condiciones de los negocios han hecho que los costos de pedir tiendan a cero (basta con llenar un formulario en la red o hacer una llamada), mientras que los costos de mantener inventarios se acrecientan por las limitaciones de espacio y los altos riesgos de obsolescencia y deterioro de las mercancías.

Hasta hace unos años era casi imposible tener un control permanente sobre las existencias de los productos, lo que

obligaba al cálculo de periodos óptimos de revisión para tomar decisiones de reposición. La revisión de los stocks ya puede ser permanente, gracias a la asistencia de los sistemas informáticos, mientras que los tiempos de suministro tienden a cambiar por el avance de los sistemas logísticos y por la globalización.

La información de base para la planeación de inventarios en la actualidad debe tener la suficiente dinámica para adaptarse a los movimientos de los mercados. Los modelos probabilísticos tienden a tener un mayor nivel de aproximación, en la mayoría de los casos, a las circunstancias del mundo real. Partir de modelos confiables de pronósticos es una buena estrategia para hacer una previsión realista de las necesidades futuras de inventarios y evitar tanto los excesos como los faltantes.

En el presente trabajo se expone una metodología de planeación del abastecimiento para empresas comerciales e industriales con un modelo probabilístico de inventarios por demanda, gobernado por niveles de servicio diferenciales según una clasificación ABC por volumen de ventas, a partir de una previsión de la demanda alimentada por el modelo de pronósticos de Holt-Winters que considera suavización exponencial, tendencia y estacionalidad. El objetivo es minimizar el capital de trabajo invertido en inventarios, teniendo como restricción principal el cumplimiento de niveles de servicio prefijados por la compañía.

2. ESTADO DEL ARTE

La temática de la gestión de los inventarios y las compras, así como la de los pronósticos de ventas han sido temas de estudio de los investigadores, desde hace bastante tiempo. Los trabajos más recientes en modelos de pronósticos y control de inventarios integran generalmente ambas temáticas y en ocasiones proponen mejoras o alternativas a los algoritmos clásicos. Teunter et al [9] han propuesto un nuevo método para pronosticar demanda intermitente. Ferbar [2] indica un procedimiento para integrar el modelo de inventarios a los pronósticos y optimizar integralmente sus parámetros y sus valores iniciales. Syntetos et al [8] revisaron los modelos aplicables a bodegas mayoristas con un estudio de caso. Tiacci & Sietta [10] demostraron que un modelo de pronósticos no se debe evaluar sólo por la minimización del error sino que también debe considerarse el efecto en los costos y en el nivel de servicio. Hernández et al [4] [5] implementaron un modelo multinivel asumiendo demanda constante. Little et al [6] proponen una política de optimización de los stocks de seguridad basada en restricciones. Snyder [7] describió un sistema de inventarios con pronósticos basados en pronósticos por suavización exponencial.

3. CONTRIBUCIÓN DE ESTE TRABAJO

Este trabajo detalla un procedimiento completo de gestión de inventarios partiendo de un pronóstico de la demanda y un cálculo del inventario óptimo a partir de niveles de servicio diferenciales según la importancia relativa de los productos permitiéndole a las compañías que lo han implementado reducir sus costos de inventario y mejorar sus niveles de servicio a los clientes. Esta metodología permite mejorar la gestión de inventarios y compras aplicando algoritmos matemáticos eficientes que requieren sin embargo, un uso intensivo de sistemas de cómputo, dados los volúmenes de datos que se deben procesar.

4. MODELO MATEMÁTICO

Suponemos que una empresa desea saber las cantidades a comprar, para mantener actualizado su inventario. Las políticas de la empresa determinan un objetivo de nivel de servicio deseado. Se conocen los tiempos de aprovisionamiento y el tiempo que hay entre un pedido y otro. Se conocen también los volúmenes de venta de cada producto en un espacio de tiempo suficiente como para proyectar el comportamiento hacia el futuro inmediato. El resultado esperado es una lista de los productos y las cantidades a pedir en un periodo dado. La empresa efectúa esta previsión con frecuencia para mantener actualizado su inventario.

Para proyectar la demanda, se parte de pronósticos de ventas calculados con el procedimiento de Holt-Winters. (Una explicación mucho más completa y detallada se puede encontrar en [3]).

El pronóstico en el Modelo Holt-Winters se calcula aplicando las siguientes fórmulas:

$$A_t = \alpha * (Ventas_t / I_t) + (1 - \alpha) * (A_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta * (A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}$$

$$I_t = \lambda * (Ventas_t / A_t) + (1 - \lambda) * I_t$$

$$Y_{t+i} = (A_t + i * T_t) * I_{t-l+i}$$

Donde:

A_t = Base del pronóstico (Nivel de ventas cuando $t = 0$).

α = Factor entre 0 y 1 para ponderar la base del pronóstico.

t = periodo de tiempo considerado.

$Ventas_t$ = Ventas reales del período t .

I_t = Factor de estacionalidad del período t .

T_t = Tendencia de las ventas en el periodo t .

β = Factor entre 0 y 1 para ponderar la tendencia.

λ = Factor entre 0 y 1 para ponderar la estacionalidad.

i = Índice del período para el que se está pronosticando a partir del período actual.

l = Número de periodos en el ciclo estacional.

Y_t = Pronóstico para el período t .

Para aplicar las fórmulas se deben considerar al menos 2l periodos previos de Ventas, que permitan ajustar los valores de los diferentes componentes del modelo. Un estudio previo habrá permitido conocer la longitud del periodo estacional (l), así como los valores iniciales de los factores estacionales de cada período (I_t), el valor inicial del intercepto (A_0) y de la tendencia (T_0). Usando un modelo de investigación de operaciones, se pueden optimizar los valores de los factores α , β y λ , de tal manera que se minimice el error del modelo (la diferencia entre el valor pronosticado y el valor real), considerando un indicador como el error medio al cuadrado (MSE o EMC), la diferencia absoluta media (MAD o DAM), o el porcentaje del error medio absoluto ($MAPE$ o $PEMA$), como función objetivo. Esa optimización se puede hacer al iniciar el modelo por primera vez y mantener los parámetros para las siguientes aplicaciones. Es conveniente, sin embargo, revisar los factores y volver a correr la optimización con alguna frecuencia.

La implementación informática del algoritmo requiere algunos refinamientos. Por ejemplo, en los datos de entrada se deben aplicar límites de control a 3 desviaciones estándar arriba y debajo de la media, para reemplazar datos atípicos que pueden afectar el cálculo final del pronóstico. En bases de datos muy grandes de empresas con un portafolio muy amplio pero de alta rotación, que tienen estacionalidades muy largas, a veces es necesario mantener pre-procesada parte de la información, de tal manera que al hacer el pronóstico solo se deba actualizar la información del día presente. Cuando es posible se almacenan junto con los datos del producto los últimos valores calculados de Y_t , A_t , T_t e I_t ; de tal manera que solo se deba procesar el nuevo valor de $Ventas_t$. La necesidad de información instantánea en entornos de grandes volúmenes de datos, implica tener estrategias que permitan la agilidad en la respuesta.

El modelo Holt-Winters debe dar como resultado, los pronósticos para los periodos equivalentes al tiempo entre pedidos más el tiempo de aprovisionamiento. Se debe calcular la desviación estándar de las ventas de los últimos 2l periodos (o mejor aún, los que hayan sido considerados en el cálculo de los pronósticos): La suma de los pronósticos correspondientes al tiempo entre pedidos más el tiempo de aprovisionamiento debe incrementarse en z desviaciones estándar, donde z es el valor de referencia de la distribución de probabilidad normal con media = 0 y desviación estándar = 1, cuya probabilidad es igual al nivel de servicio deseado. Esta estrategia supone que los datos siguen una distribución normal, lo que se puede asumir siguiendo el teorema central del límite.

El nivel de servicio debe ser diferencial, según la clasificación ABC de los productos, que debe recalcularse con frecuencia. Para hacer la clasificación, se ordenan los productos de acuerdo a su volumen esperado de ventas de mayor a menor y se calcula el porcentaje acumulado con respecto a las ventas totales esperadas.

Los porcentajes pueden variar según políticas de cada empresa. Si nos basamos en el principio de Pareto (80/20), los productos que estén en el rango de 0% a 80% en la suma acumulada se consideran inventario tipo A. De 80% a 96% se considera inventario tipo B y de 96% a 100% es inventario tipo C. Para los productos tipo A se debe buscar un altísimo nivel de servicio (por ejemplo 97%), para los productos tipo B un nivel de servicio un poco menor (95% por ejemplo) y para los productos tipo C, un nivel de servicio más modesto (90% por ejemplo).

Los valores resultantes corresponde a las existencias que se deben tener en inventario para cubrir la demanda, por lo tanto, para calcular la cantidad a comprar, es necesario restarle las existencias actuales y los pedidos pendientes próximos a llegar para calcular la cantidad a comprar.

Cuando un producto ha estado agotado en el proveedor por un tiempo prolongado, es posible que sus valores de ventas se pierdan y no se tengan en cuenta en los pronósticos, lo que puede hacer que se tarde en recuperarse su dinámica normal en el sistema de inventarios. Puede ser necesario un método de marcado en la base de datos que identifique esas circunstancias y recupere la historia comercial del producto una vez se reactive en el mercado.

5. EJEMPLO NUMÉRICO

Supongamos un producto cuya demanda en los últimos 12 periodos ha sido:

Periodo	Ventas
1	416
2	769
3	812
4	786
5	539
6	591
7	833
8	613
9	473
10	586
11	830
12	619

La estacionalidad es de 4 periodos. Los parámetros principales del modelo Holt-Winters son:

Parámetro	Valor
α	0,0111
β	0,9990
λ	0,1849
I_1	0,6986
I_2	1,0002
I_3	1,2376
I_4	1,0637

Partiendo con un A_t calculado en 676 y un T_t de -10,4, aplicando las fórmulas, los pronósticos para los siguientes 4 periodos serían entonces: 450, 621, 783 y 650. Si el producto es clase A y se busca un nivel de servicio del 95% para esa categoría, la constante es 1,64 (según la distribución normal estándar); la desviación estándar (σ)

es de 145,45, el lead time es de 1 periodo y la frecuencia entre pedidos es de 2 períodos; entonces la cantidad a tener en existencia debe ser, teniendo en cuenta 3 períodos completos (1 de LT y 2 de frecuencia) : $(450 + 621 + 783) + 1,64 * 145,45 = 1615$. Si la existencia actual del producto es de 1000 unidades, la cantidad a pedir será: 615 unidades.

6. RESULTADOS

El modelo descrito ha sido aplicado con éxito en la gestión de ventas e inventarios de un concesionario de venta de vehículos (La descripción detallada de esa experiencia ha sido presentada en [1]). También se ha aplicado en una red de venta de repuestos para automotores, en una cadena de droguerías de venta al detal y en una bodega de distribución mayorista de medicamentos.

Se ha podido apreciar que con igual rotación de inventarios que la que se tenía antes de aplicar el modelo, es posible tener un mejor nivel de servicio directo del inventario, aplicando el modelo de inventarios propuesto. Por ejemplo, en uno de los casos, el modelo previo (basado en promedios móviles) registraba 1888 rompimientos de inventario entre dos pedidos consecutivos y un nivel de servicio promedio del 85,81% a partir del inventario con una rotación de 49,42 días en promedio. La figura 1 muestra que el modelo propuesto llega a un nivel de servicio del 96% a partir del inventario y apenas 110 rompimientos de inventario con los mismos 49,42 días promedio de inventario a partir del nuevo modelo de sugerido.

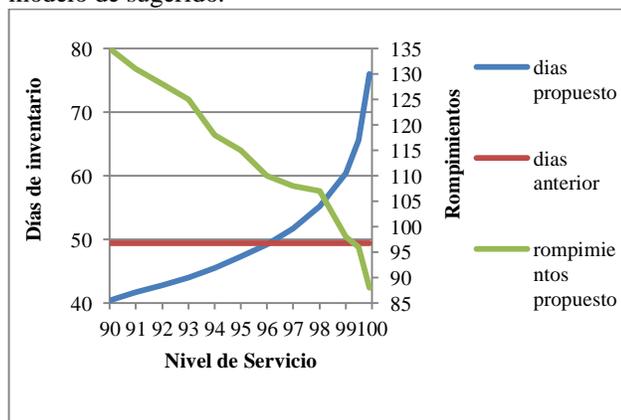


Fig. 1. Días de Inventario y rompimientos según nivel de servicio (modelo anterior y modelo propuesto).

Con base en los mismos datos, también se puede determinar que con el mismo costo de capital de trabajo invertido en inventarios se puede tener un nivel de servicio más alto que el actual. El siguiente gráfico permite apreciar que al costo que tenía el inventario anterior se pudo llegar a un nivel de servicio del 96% con el modelo propuesto de manejo de inventarios.

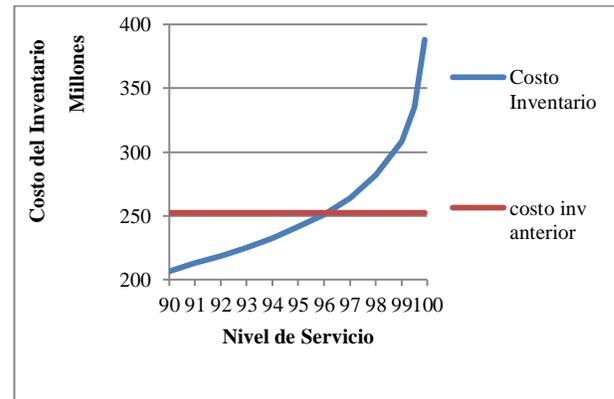


Fig 2. Costo de Inventario vs Nivel de servicio (Modelo anterior y modelo propuesto)

7. CONCLUSIONES

Se ha propuesto un modelo de manejo de compras e inventarios que supone demanda incierta, aplicando pronósticos por el algoritmo de Holt-Winters y un sistema de inventarios por demanda estocástico guiado por el nivel de servicio como parámetro para calcular las cantidades a comprar de cada producto. El modelo usa la clasificación ABC por volumen de los productos para permitir un mayor nivel de servicio resultante con menor costo. Los resultados de su implementación en empresas comerciales y de servicios han sido satisfactorios y muestran que se puede tener un mayor nivel de servicio con los mismos costos o menores costos brindando el mismo nivel de servicio previo.

La implementación informática de esta solución, aunque no requiere cálculos demasiado complejos, si implica tener en cuenta estrategias que permitan la generación de información confiable con tiempos de respuesta adecuados a la dinámica de los procesos de aprovisionamiento y gestión de las existencias. La integración de la solución a la base de datos de la empresa donde reposa la información comercial y financiera es vital para la actualización permanente de la información y la agilidad y confiabilidad de los resultados.

Futuros trabajos podrían concentrarse en aplicar el modelo a los inventarios de empresas industriales considerando las condiciones de los entornos productivos en cuanto a tiempos y limitaciones de su gestión de inventarios.

8. RECONCIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia, cuyo apoyo para esta investigación ha sido indispensable para llevarla a cabo con todo éxito. Este trabajo hace parte del desarrollo de la tesis doctoral del autor Jaime Antero Arango Marín.

9. REFERENCIAS

- [1] J. A. Arango M., S. Torres, L. E. González, Modelo Matemático para Optimizar la Gestión de Compras e Inventarios de Vehículos Nuevos para un Concesionario de Automotores en Colombia. Presented at XVIII SIMMAC Simposio Internacional de Métodos Matemáticos Aplicados a las Ciencias, San José, Costa Rica 21-24 Febrero, 2012.
- [2] L. Ferbar T., Joint optimisation of demand forecasting and stock control parameters, *International Journal of Production Economics* 127, 2010, Pp. 173-179.
- [3] J. E. Hanke, D. W. Wichern, Dean W., *Pronósticos en los Negocios*, Octava Edición, Pearson Prentice Hall, México, 2006, 552 p.
- [4] P. C. Hernández, C. A. Amaya, N. Velasco, Modelo de coordinación de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público, *Los cuadernos de PYLO – Logística Hospitalaria*, Universidad de Los Andes, 2008.
- [5] P. C. Hernández, N. Velasco, C. A. Amaya, Modelo para el Manejo Eficiente de Inventarios en la Cadena de Abastecimiento de Medicamentos del Hospital El Tunal, *Los cuadernos de PYLO – Logística Hospitalaria*, Universidad de Los Andes, 2007.
- [6] J. Little, B. Coughlan, Optimal inventory policy within hospital space constraints, *Health Care Manage Sci* 11, 2008, pp. 177–183.
- [7] R. D. Snyder, A. B. Koehler, J. K. Ord, Forecasting for inventory control with exponential smoothing, *International Journal of Forecasting* 18, 2002, pp. 5-18
- [8] A. A. Syntetos, M. Z. Babai, J. Davies, D. Stephenson, Forecasting and stock control: A study in a wholesaling context, *International Journal of Production Economics* 127, 2010, Pp. 103-111.
- [9] R. H. Teunter, A. A. Syntetos, M. Z. Babai, Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence, *European Journal of Operational Research*, 214, 2011, Pp. 606–615.
- [10] L. Tiacchi, S. Saetta, An approach to evaluate the impact of interaction between demand forecasting method and stock control policy on the inventory system performances, *International Journal of Production Economics*, 118, 2009, Pp. 63–71.