

Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA INTERMITENTE Y EL CONTROL DE INVENTARIOS DE REPUESTOS DE EQUIPOS BIOMÉDICOS

Julian O. Gualteros¹

Cristian D. Castañeda²

Manuel A. Camacho³

Edgar L. Duarte⁴

Alexander Narnajo⁵

RESUMEN: El artículo presenta una metodología para la gestión de inventarios en condiciones de demanda intermitente, a partir de la aplicación de un modelo estocástico para su estimación. Para su validación se utilizó un estudio de caso consistente en el sector de repuestos biomédicos de un hospital público. Se simularon alternativas de estimación de la demanda y del control de inventarios buscando atender el nivel de servicio deseado y disminuir los costos de compra y mantenimiento del inventario de repuestos. Los resultados demuestran que, para la mayoría de los repuestos analizados, la institución hospitalaria realiza una sobreestimación de las necesidades de compra de estos, dada la necesidad de mantener una alta disponibilidad de ellos y la dificultad de estimar su demanda. La política de compra y control de inventarios propuesta permite una reducción de los costos de compra en un 41%, manteniendo los niveles de servicio definidos por la gerencia de la institución objeto de estudio.

Palabras clave: Logística hospitalaria, demanda intermitente, control de inventarios, repuestos equipos biomédicos.

1 INTRODUCCIÓN

Una precisa estimación de la demanda es uno de los factores que determina el éxito de los sistemas de gestión inventarios, pues dicho parámetro no sólo determina el tamaño óptimo del pedido, sino que afecta el nivel de servicio al cliente y en general el desempeño económico de la organización. Este proceso tiene mayores dificultades cuando la demanda tiene un comportamiento intermitente, el cual se caracteriza porque existe una alta variabilidad tanto en el tamaño de los pedidos de los clientes, así como en el intervalo entre períodos de pedido con demandas no nulas.

¹ Universidad Libre, Bogotá, Colombia - juliano.gualterosc@unilibrebog.edu.co

² Universidad Libre, Bogotá, Colombia - cristian.castanedap@unilibrebog.edu.co

³ Universidad Libre, Bogotá, Colombia – manuel.camachoo@unilibrebog.edu.co

⁴ Universidad Libre, Bogotá, Colombia – edgarl.duarte@unilibrebog.edu.co

⁵ Universidad Libre, Hospital Universitario de La Samaritana – alexluan87@gmail.com

El artículo presenta la evaluación de alternativas de control de inventarios de repuestos para equipos biomédicos en el HUS a partir del método propuesto por Sandmann y Bober (SANDMANN e BOBER, 2009), y sobre el cual se simularon escenarios para la estimación de la demanda de repuestos y su proceso de control de inventarios para un período de planeación de un año. La solución propuesta permite que el hospital mejore la estimación de la cantidad de repuestos que debe licitar y contratar para su suministro. Se parte por presentar la revisión de métodos para el control de inventarios de demanda intermitente; se presenta una descripción del método aplicado para la estimación de la demanda de los repuestos analizados; se describen las alternativas de estimación de la demanda y de control de inventarios simuladas. Por último, se presentan las conclusiones frente a los resultados obtenidos y futuros trabajos.

2. MÉTODOS DE PREVISIÓN DE DEMANDA PARA ÍTEMS CON DEMANDA INTERMITENTE

El método clásico para la estimación de productos con demanda intermitente es el desarrollado por Croston (CROSTON, 1972), quienes utilizando suavización exponencial simple, estiman el tamaño de la demanda y su intervalo a través de parámetros que se actualizan cuando se registra un evento de demanda. De acuerdo a lo propuesto en (CARBONERAS e colab., 2007) “a pesar de que el método de Croston es teóricamente superior a otros métodos de previsión convencionales, los resultados de su aplicación en datos reales no son muy positivos”. Por ello se han desarrollado mejoras al método, entre ellas la definida en (BOYLAN e SYNTETOS, 2008), en donde se desarrolló un ajuste para corregir el error sistemático detectado en el modelo de Croston original. En general, este modelo asume que los períodos de tiempo (medido en días, semanas, o meses) entre demandas sucesivas, así como los tamaños de demanda son variables aleatorias que son independientes e idénticamente distribuidas, aspecto que no necesariamente se cumple en patrones de demanda intermitente. El modelo de Croston asume una distribución geométrica para los tiempos entre demandas y tamaños de demanda distribuidos normalmente, lo cual es una limitante para analizar casos que no tienen dicho comportamiento.

Frente a los supuestos del método de Croston, Sandmann y Bober proponen una metodología de análisis estadístico para determinar si es adecuado el desarrollar una estimación de la demanda a partir del método Box-Jenkins o por medio de la definición de las distribuciones de probabilidad, tanto para el tiempo entre demandas como para el tamaño de esta.

3. SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIOS.

De acuerdo a la clasificación propuesta en (MOON e colab., 1998), los sistemas de control de inventarios probabilísticos, utilizan la siguiente notación básica: s = punto de reorden, o posición del inventario efectivo que actúa como indicador de que debe realizarse un nuevo pedido; Q = cantidad a ordenar en cada orden y S = nivel máximo de inventario hasta donde puede ordenarse. Teniendo en cuenta esta definición los sistemas de control más comunes se clasifican en: sistema de punto de reorden (s, Q), el cual determina que cada vez que el inventario efectivo cae o supera al punto de reorden s , se ordena una cantidad fija Q ; sistema de punto de reorden hasta un nivel máximo de inventario (s, S), denominado de control continuo ya que propone que cada vez que el inventario efectivo cae o supera al punto de reorden s , se ordena una cantidad tal que se incremente el inventario efectivo hasta el nivel máximo S ; sistema de revisión periódica (R, S), donde cada R unidades de tiempo se revisa el inventario efectivo, y se ordena una cantidad igual a la diferencia entre el nivel máximo de inventario S y el inventario efectivo. También se consideran sistemas combinados (R, s, S) en los que tras R unidades de tiempo, se revisa el inventario efectivo, si éste es menor o igual que el punto de reorden s , entonces se emite un pedido por una cantidad tal que el inventario efectivo se recupere hasta un nivel máximo S ; si el nivel de inventario efectivo es mayor que s , no se ordena cantidad alguna hasta la próxima revisión en R unidades de tiempo.

4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE REPUESTOS PARA EQUIPOS BIOMÉDICOS.

La metodología propuesta se basa en los siguientes cinco pasos:

- a. Selección de ítems a través de criterios de demanda y criticidad.
- b. Modelamiento matemático de la demanda
- c. Estimación de demanda de repuestos
- d. Evaluación de escenarios para estimación de demanda
- e. Evaluación de políticas de compra

4.1 Selección de ítems a través de criterios de demanda y criticidad

Como objeto de estudio se escogió al inventario de repuestos de equipos biomédicos del Hospital Universitario de La Samaritana, institución hospitalaria pública que brinda servicios a población de la región central de Colombia. A partir de un proceso de clasificación ABC, se estableció un grupo de siete (7) repuestos sobre los cuales se aplicó el análisis teniendo en

cuenta los siguientes criterios: repuestos incluidos dentro del grupo de compra repuestos para los años 2014-2015 y que estos estuviesen catalogados como “dispositivos médicos de riesgo alto, sujetos a controles especiales en el diseño y fabricación para demostrar su seguridad y efectividad” (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, 2005).

4.2 Modelamiento matemático de la demanda

Para los ítems seleccionados y teniendo en cuenta un horizonte de planeación de 12 meses, se demostró la independencia tanto del intervalo, como del tamaño de la demanda de los repuestos considerados y luego de aplicar las pruebas de bondad se concluyó que la ocurrencia de la demanda y el tamaño de esta se distribuyen bajo las distribuciones Binomial y Poisson respectivamente.

4.3 Estimación de la demanda de repuestos

La aplicación del método de Sandmann y Bober, inicia por estimar un número probable de j momentos (meses) en los cuales existirá demanda. Los valores tenidos en cuenta para la estimación de la demanda son los que superen una mínima probabilidad de que ésta realmente exista. Por tanto, se tomará en cuenta el máximo valor j de eventos exitosos tal que superen un nivel mínimo de probabilidad, ver (1):

$$J_{\zeta} = \max \left\{ j: \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j} > \zeta \right\} \quad (1)$$

Donde:

j : Es la probabilidad de que se presente un número j de demandas

n : El número de períodos en el horizonte de planeación.

p : Probabilidad de un evento exitoso.

J_{ζ} : La máxima probabilidad de que ocurra j eventos exitosos en n periodos donde

ζ : Es la mínima probabilidad despreciable.

Para ejemplificar lo anterior, se considera el repuesto denominado: “interface Spo2 neonatal tipo Nellcor” con parámetro $p=0.5416$. El número de períodos en donde existirá demanda se distribuye binomialmente, y la probabilidad de exactamente j demandas en los próximos 12 meses está dada por (2).

$$P_{j,n} = \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j} \quad (2)$$

La probabilidad de que el repuesto sea demandado en cada uno de los siguientes 12 meses es:

$$P_{12,12} = \binom{12}{12} p^{12}(1-p)^0 = 0,0006370065$$

Esta probabilidad es tan pequeña que es razonable no considerarla, entonces se debe elegir un ζ de forma que cualquier probabilidad por debajo de este límite se descartará. Sea $\zeta = 0,01$, a partir de los eventos donde existirá demanda posible con mayor probabilidad y continuando con el ejemplo, se elige aquel máximo j que cumple con el criterio definido.

$P_{12,12} = 0,0006 < \zeta$	$P_{6,12} = 0,2164 > \zeta$
$P_{11,12} = 0,0065 < \zeta$	$P_{5,12} = 0,1570 > \zeta$
$P_{10,12} = 0,0301 > \zeta$	$P_{4,12} = 0,0830 > \zeta$
$P_{9,12} = 0,0850 > \zeta$	$P_{3,12} = 0,0312 > \zeta$
$P_{8,12} = 0,1618 > \zeta$	$P_{2,12} = 0,0079 < \zeta$
$P_{7,12} = 0,2191 > \zeta$	$P_{1,12} = 0,0012 < \zeta$

De todos los valores j para los cuales se supera el valor de $\zeta = 0,01$, el mayor es $j=10$, lo cual quiere decir que se presentará demanda durante 10 meses en el horizonte de planeación.

Para determinar el tamaño de la demanda, es necesario determinar el mínimo número de eventos o unidades demandadas en un periodo de tiempo cuya probabilidad acumulada es mayor o igual a un cuantil de la probabilidad que se debe determinar teniendo en cuenta el nivel servicio que se quiere prestar en el horizonte de planeación propuesto. Teniendo en cuenta que el tamaño de la demanda para cada período se distribuye como una Poisson, se utiliza la siguiente expresión para su estimación (3).

$$Q_n = \min \left\{ x: \sum_{k=1}^x \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \geq n \right\} \quad (3)$$

Donde:

k : La demanda esperada de acuerdo a un proceso de Poisson.

x : Cantidad de eventos ocurridos durante cierto periodo.

λ : Tasa de ocurrencia de la demanda.

Q_n : Sumatoria de las demandas (ocurrencias) mayores o iguales a la probabilidad n

n : Es el cuantil de la distribución Poisson dado para el tamaño de la demanda necesario para suplir la demanda en un periodo de tiempo.

Continuando con el ejemplo del repuesto considerado, se tiene que $\lambda = 5,0769$ y el cuantil a considerar es 0,95 se tiene lo siguiente:

$$Q_n = \min \left\{ x: \sum_{k=1}^x \frac{e^{-5,0769} 5,0769^k}{k!} \geq 0,95 \right\}$$

Finalmente, para estimar el número total de unidades a ser demandadas en el horizonte de planeación se realiza el producto entre los resultados de las ecuaciones (1) y (3) usadas para determinar el número de periodos en que ocurre demanda y el número de unidades que se espera que sean demandadas por cada periodo, lo cual se resume en (4):

$$m = Q_{0,95} \cdot \max\{j: P_{j,n} > \zeta\} = 10 \cdot 9 = 90 \text{ unidades} \quad (4)$$

4.4 Evaluación de escenarios para la determinación de la demanda.

A partir del método original descrito y por medio de simulación se evaluaron los siguientes criterios alternativos para estimar la demanda y verificar su impacto en el nivel de servicio deseado y los costos de compra y mantenimiento de inventario:

- Escenario 1: Método original de Sandmann y Bober
- Escenario 2: Se evaluó el número de ocurrencias más probable, para determinar el tamaño de la demanda se consideró la mínima sumatoria acumulada de las probabilidades mayor a un cuantil del 95%.
- Escenario 3: Se evaluó el número de ocurrencias más probable, para determinar el tamaño de la demanda se consideró el evento con máxima probabilidad.
- Escenario 4: Se evaluó la máxima probabilidad de ocurrencias acumulada despreciando una probabilidad mínima de 0,01, para determinar el tamaño de la demanda se utilizó el evento con máxima probabilidad.
- Escenario 5: Se utilizó la máxima probabilidad de ocurrencias acumulada despreciando una probabilidad mínima de 0,01. para determinar el tamaño de la demanda se evaluó con la mínima sumatoria acumulada de las probabilidades mayor a un cuantil del 90%.

4.5 Evaluación de políticas de control de inventarios

Dado que no existen mecanismos eficaces de control continuo del inventario se seleccionó una política de control periódica, con los siguientes parámetros la cual igualmente fue simulada:

- R = Intervalo de revisión mensual
- S = La cantidad máxima de inventario, que en este caso es equivalente al valor máximo de k en la distribución acumulada de Poisson según la ecuación (3) y tomando un $n = 1$ se tendría un nivel de servicio cercano al 100%. El lead time es de 0.1

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

A continuación se presentan los resultados comparativos de la evaluación de los escenarios frente a la estimación de la demanda y las políticas de control de inventarios para los repuestos considerados:

Tabla 1 Resultados de Evaluación de Políticas Estimación de Demanda y Control de Inventarios

Repuesto	Escenario de estimación de demanda	Política de revisión seleccionada	Porcentaje de mejora en costos	Nivel de servicio promedio política de compra propuesta	Nivel de servicio promedio política HUS	Porcentaje de ciclos con faltantes política de compra propuesta	Porcentaje de ciclos con faltantes política de HUS
1	2	R=1, S=Qn; n=1.	-82%	99%	92%	1,82%	28,95%
2	5	R=1, S=Qn; n=1,	63%	99%	99%	1,55%	0%
3	4	R=1, S=Qn; n=1,	-71%	99%	94%	1,41%	28,29%
4	5	R=2, S=Qn; n=1.,	40%	99%	99%	2,64%	0%
5	5	R=2, S=Qn; n=1,	23%	99%	99%	0,03%	0%
6	4	R=2, S=Qn; n=1,	10%	99%	99%	3,08%	0,30%
7	2	R=3, S=Qn; n=1,	67%	99%	99%	3,16%	0%

Para 5 de los 7 ítems analizados se logra una reducción promedio de los costos del 41%, para los dos productos que no están en este grupo la mejora se evidencia en lograr cumplir el nivel de servicio requerido por el HUS, ya que con la política actual de control del hospital mantiene un promedio de faltantes del 28%.

6. CONCLUSIONES.

La metodología propuesta contribuye a mejorar los procesos que debe realizar el hospital frente a la definición de requerimientos, licitación y contratación de servicios de suministros para el área de equipos biomédicos; la mejora en las estimaciones propuestas requiere de la implementación de procedimientos para la recolección y análisis sistemático de información del estado de mantenimiento de los equipos. De otra parte, se evidencian necesidades de abordar el problema de control conjunto de ítems que tienen características de demanda intermitente.

7. REFERENCIAS.

BOYLAN, John E e SYNTETOS, Aris A. Forecasting for inventory management of service parts. *Complex System Maintenance Handbook*. [S.l.]: Springer, 2008. p. 479–506.

CARBONERAS, Manuel Cardós e colab. Categorización de la demanda, previsión y gestión de inventarios para ítems con demanda intermitente. 2007, [S.l.: s.n.], 2007. p. 21.

CROSTON, J Do. **Forecasting and stock control for intermittent demands**. *Journal of the Operational Research Society*, v. 23, n. 3, p. 289–303, 1972.

MOON, Ilkyeong e colab. **Inventory Management and Production Planning and Scheduling**. Third Edition ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. **DECRETO 4725 DE 2005 (diciembre 26) por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano**. . [S.l.: s.n.]. Disponible em: <<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18697>>. , Diciembre de 2005

SANDMANN, Werner e BOBER, O. *Stochastic Models for Intermittent Demands Forecasting and Stock Control*. 2009, [S.l.]: Citeseer, 2009.

Originals recebidos em: 23/11/2016

Aceito para publicação em: 13/12/2016