Modelos de gestión de inventarios para ítems con demanda intermitente

Mª Eugenia Babiloni Griñón, Manuel Cardós Carboneras,
José Miguel Albarracín Guillem[1], Marta E. Palmer Gato[1]

Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46022. Valencia.
mabagri@doctor.upv.es, mcardos@omp.upv.es, malbarr@omp.upv.es, marpalga@omp.upv.es.

Resumen

Un adecuado sistema de gestión de inventarios debe conocer las características de la demanda de los productos para los que se implanta. Si dichos productos presentan patrones de demanda intermitentes o de lento movimiento los modelos tradicionales deterministas y probabilísticos no son efectivos, puesto que se violan las condiciones necesarias para su aplicación. En el presente artículo se realiza una revisión de los modelos y métodos más relevantes encontrados en la literatura para la gestión de inventarios cuando la demanda es calificada de intermitente, con variabilidad en el tamaño de las órdenes de demanda así como en el intervalo entre demandas. Algunos de ellos son adaptaciones de métodos tradicionales, otros, nuevos métodos de gestión, pero todos ellos se basan en revisión continua o periódica.

Palabras clave: gestión de inventarios, demanda intermitente

1. Introducción

En muchas industrias, la gestión del inventario se ha convertido en un elemento estratégico clave que determina el éxito o fracaso de objetivos importantes para la organización, como es, entre otros, cumplir con un nivel de servicio determinado a priori, manteniendo unos costes razonables. Un adecuado modelo de gestión de inventarios debe tener en cuenta las características de la demanda de los ítems que gestiona, sobre todo cuando éstos no presentan un patrón de demanda estable, ni un periodo de aprovisionamiento constante.

Los modelos tradicionales de gestión de inventarios, aun los diseñados para demandas probabilísticas, requieren, para su aplicación, el cumplimiento de una serie de hipótesis. Por ejemplo, para modelos tipo *(s, Q)*, se asume que la demanda media es prácticamente invariante con el tiempo y que las órdenes de demanda son unitarias. Para aplicar modelos tipo *(R, S)*, la variación de demanda entre revisiones debe ser suficiente como para que se requiera lanzar una orden cada vez que se revisa. Estas hipótesis no se cumplen cuando la demanda es calificada de intermitente, de ahí la necesidad de establecer nuevos modelos de gestión adecuados a la misma. La aparición de demanda intermitente se da en sectores tan importantes como el del mantenimiento, la gestión de repuestos o la gestión comercial.

Por otro lado no existe un consenso acerca de bajo qué condiciones, de revisión periódica o revisión continua, es más adecuado gestionar el inventario de ítems con demanda intermitente. Algunos autores como Sani y Kingsman (1997) defienden la revisión periódica en un contexto de ahorro de costes. Otros autores, como Yeh et al. (1997) asumen que la revisión continua es necesaria para asegurar un adecuado nivel de servicio.

En el presente artículo se realiza una revisión de los modelos más relevantes de gestión de inventarios para ítems con demanda intermitente. Dentro de los mismos, se identifican aquellos que plantean su modelo bajo condiciones de revisión periódica (sección 2) y los que lo hacen bajo condiciones de revisión continua (sección 3). En la sección 4 se presentará un cuadro resumen con las características principales de cada modelo.

2. Modelos de gestión de inventarios para demanda intermitente bajo revisión periódica

El primer autor que publica un modelo de gestión de inventarios para ítems con demanda intermitente es Schultz (1987). Dicho modelo consiste en modificar un sistema *(R, S)* introduciendo un retraso en la liberalización de los pedidos con el fin de reducir los costes de inventariar. En un sistema de revisión periódica tipo *(R, S)* en el que se revisa cada R unidades de tiempo, si se produce demanda durante un periodo $t\text{-}1$ (D_{t-1}), disminuye el nivel de inventario neto, y por lo tanto se efectúa un pedido en el periodo siguiente O_t de tamaño suficiente como para que la posición de inventario sea igual a S. En el sistema ideado por Schultz, se introduce un retraso k en la liberalización del pedido, lo que implica que la orden no se ejecute hasta pasados $t+k$ periodos. Para Schultz (1987) tanto el intervalo entre demandas como el tamaño de las mismas se modelan según una función de distribución normal, siendo ambas variables *i.i.d.* Además asume que el periodo de aprovisionamiento es constante e igual a cero.

En un estudio posterior, Schultz (1989) aplica su modelo con retraso a un sistema de gestión (0, 1) bajo condiciones de revisión continua.

Dunsmuir y Snyder (1989) proponen un modelo para determinar el punto de pedido s en un sistema *(R, s, Q)* para un nivel de servicio objetivo. Para ello aplican la herramienta desarrollada por Snyder (1984) basada en el método de aproximación del valor parcial esperado a ítems con patrones de demanda intermitente. En dicho modelo, la demanda se modela siguiendo un proceso compuesto de Poisson, y la variable que identifica el tamaño de la demanda durante el periodo de revisión R se modela según una función de distribución gamma ($\Phi_x(\xi)$), que refleja la asimetría que presenta el patrón de demanda intermitente. Además la demanda X es *i.i.d.* identificándose la demanda positiva como $X^+=(X|X>0)$. Por lo tanto, Si π_x denota la probabilidad de que exista una demanda positiva en un periodo R, la función de distribución de X, $\Phi_x(\xi)$ se puede escribir como:

$$\phi_X(\xi)=\begin{cases}1-\pi_X & si \quad \xi=0\\ \pi_X\phi_X^+(\xi) & si \quad \xi>0\end{cases} \qquad (1)$$

Además, en Dunsmuir y Snyder (1989) se supone que el periodo de aprovisionamiento es constante, de duración n y que la demanda durante el mismo Y posee una función de distribución que es una n-convolución de Φ_x .

Para un determinado nivel de servicio al cliente α, la demanda insatisfecha durante un ciclo, es, de media $(1\text{-}\alpha)Q$, siendo Q la cantidad a pedir. Dado que la demanda diferida al final de un ciclo debe ser igual a la demanda insatisfecha al principio del ciclo (lo cual ocurre cuando en el momento de revisar el nivel de inventario está por debajo del punto de pedido s) más la diferida a lo largo del mismo, el punto de pedido s debe satisfacer la siguiente igualdad:

$$\int_s^{\infty}(x-s)f_Y(x)dx=(1-a)Q+\int_{s+Q}^{\infty}(x-s)f_Y(x)dx \qquad (2)$$

En Dunsmuir y Snyder (1989) se desprecia el segundo término de la derecha de la ecuación (2), que representa el inventario neto por debajo del punto de pedido en el momento de revisar.

Continuando con el razonamiento propuesto por Dunsmuir y Snyder (1989), Janssen et al.

(1998) desarrollan un método similar pero sin despreciar el segundo término de la derecha de la ecuación (2). Para Janssen et al. (1998) cuando la demanda no es unitaria (lo cual es normal en patrones de demanda intermitente) despreciar las desviaciones por debajo del punto de pedido al principio de un ciclo de reaprovisionamiento, tiene un impacto relevante en el cálculo de los parámetros del modelo de gestión. Con ello no sólo pretenden mejorar el método presentado por Dunsmuir y Snyder (1989) sino proporcionar una expresión más compleja para la determinación del nivel de servicio.

En Janssen et al. (1998) la demanda se modela siguiendo un proceso compuesto de Bernoulli,(cuya extensión a continuo es el proceso compuesto de Poisson utilizado por Dunsmuir y Snyder (1989)) con una probabilidad π_D de que exista demanda.

El modelo propuesto por Janssen et al. (1998) se representa esquemáticamente en la figura siguiente:

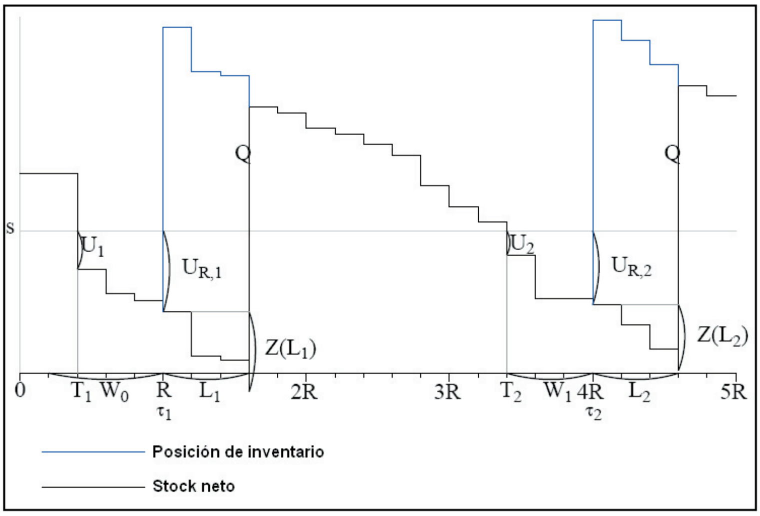

Figura 1. Evolución del stock neto y de la posición de inventario durante el primer ciclo de reaprovisionamiento. [Fuente: Janssen et al. (1998)]

Donde:

$Z(n)$:= Demanda total durante *n* periodos

$Z^*(n)$:= Demanda total positiva durante *n* periodos (existe al menos una)

T_k := Instante en el que la posición de inventario cae por debajo de *s*. Este punto será k veces después del tiempo 0.

U_k := **s** menos la posición de inventario en T_k

τ_k := Primer periodo de revisión tras T_k

W_k := $\tau_k - T_k$

$\hat{L}_k$:= $L_k - W_k$

$U_{R,k}$:= *s* menos la posición de inventario en τ_k

Z_k := $Z\left(\hat{L}_k\right) + U_k = Z\left(L_k\right) + U_{R,k}$

Z^*_k := $Z^*\left(\hat{L}_k\right) + U_k$

Para calcular el punto de pedido *s* que cumpla con un nivel de servicio β*(R,s,Q)* y con un nivel de inventario medio esperado $\mu(R,s,Q)$, el modelo propuesto en Janssen et al. (1998) denominado CBM ("Compound Bernoulli Method") procede como sigue: sea L_k's el pseudo periodo de reaprovisionamiento cuya probabilidad de que ocurra demanda durante el mismo se representa por π_L, es decir, $\pi_L = P\left(Z\left(\hat{L}_k\right) > 0\right)$ para $k \geq 1$.

En una situación en que la demanda durante L_k's sea cero, lo que ocurre con una probabilidad de $1-\pi_L$, sólo se difiere demanda si U_k es mayor que s. Sin embargo, para una situación en la que la demanda sea positiva, se diferirá siempre que la demanda durante el pseudo periodo más U_k sea mayor que s. Combinando las dos posibles situaciones, y considerando un hipotético primer ciclo de reaprovisionamiento, los autores deducen las siguientes expresiones:

$$\beta(R,s,Q) = 1 - \pi_{\hat{L}} \frac{E\left(Z_2^* - s\right)^+ - E\left(Z_1^* - s - Q\right)^+}{Q} + \left(1 - \pi_{\hat{L}}\right) \frac{E\left(U_2 - s\right)^+ - E\left(U_1 - s - Q\right)^+}{Q} \quad (3)$$

$$\mu(R,s,Q) = \pi_{\hat{L}} \frac{E\left[\left(s + Q - Z^*\left(\hat{L}_1\right)\right)^+\right]^2 - E\left[\left(s - Z^*\left(\hat{L}_2\right)\right)^+\right]^2}{2Q} + \left(1 - \pi_{\hat{L}}\right) \frac{E\left(\left(s + Q\right)^+\right)^2 - E\left(s^+\right)^2}{2Q} \quad (4)$$

Modelando $Z^*\left(\hat{L}_1\right), Z_1^*, y\ U_1$ como distribuciones de Erlang y junto con la probabilidad π_L se puede calcular $\beta(R,s,Q)$ y $\mu(R,s,Q)$, conocidos los parámetros del modelo de gestión *(R, s, Q)*.

Otros autores como Leven y Segerstedt (2004) o Syntetos y Boylan (2006) utilizan también un sistema de gestión de inventarios bajo condiciones de revisión periódica para medir el rendimiento de distintos métodos de previsión en condiciones de demanda intermitente. Leven y Segerstedt (2004) proponen una un modelo heurístico de gestión de inventarios que utiliza las previsiones realizadas por el método de Croston modificado por los autores. En él, el tamaño de las órdenes de demanda se modelan según una distribución de Erlang que tras la estimación de sus parámetros se utiliza para calcular la probabilidad de incurrir en roturas de stocks. Por el contrario, Syntetos y Boylan (2006) basándose en los estudios llevados a cabo por Sani y Kingsman (1997) utilizan un sistema de gestión (*R, S)*, modelando la demanda con una función de distribución binomial negativa, cuya análoga en continuo es la distribución gamma. Para medir el rendimiento conjunto del sistema de previsión y de gestión utilizan tres condiciones de optimización: (1) Criterio de servicio P_2; (2) Criterio de coste por roturas de stock; (3) Criterio de coste por órdenes de pedido de emergencia. La formulación matemática para dichas condiciones puede encontrarse en Syntetos y Boylan (2006).

Por último, Cardós et al. (2006) proponen un método de estimación exacto para el cálculo del nivel de servicio de ciclo ("Cycle Service Level" o CSL) cuando la demanda se modela con una distribución de probabilidad discreta. Dicha expresión tiene en cuenta las características de la demanda intermitente, por tanto el nivel de servicio de ciclo expresado por Silver et al. (1998) como:

$$CSL = P\left(D_{R+r} \leq S\right) = F_{R+r}\left(S\right), \tag{5}$$

es más adecuado expresarlo como:

$$CSL = P\left(D_R \leq z_0 \middle| D_R > 0\right) = \frac{P\left(0 < D_R \leq z_0\right)}{P\left(D_R > 0\right)} = \frac{F_R\left(z_0\right) - F_R\left(0\right)}{1 - F_R\left(0\right)}, \tag{6}$$

siendo z_0 el inventario al principio del periodo de revisión. Luego, en general,

$$CSL = \sum_{z_0}^{S} P\left(z_0\right) \cdot CSL\left(z_0\right) = \sum_{z_0}^{S} P\left(z_0\right) \cdot \frac{F_R\left(z_0\right) - F_R\left(0\right)}{1 - F_R\left(0\right)} \tag{7}$$

La aplicación de (7) requiere un gran esfuerzo computacional, puesto que es necesario estimar las probabilidades para cada nivel de inventario. Los autores proponen un método para obtenerlas, descrito con detalle en Cardós et al. (2006).

3. Modelos de gestión de inventarios para demanda intermitente bajo revisión continua

Snyder (1984) plantea un modelo heurístico con un sistema de gestión *(s, Q)* cuyo objetivo es encontrar el punto de pedido que hace posible cumplir con el nivel de servicio objetivo. Dicho modelo está fundamentado en los estudios llevados a cabo por Burgin (1975) sobre la aplicación de la función de distribución gamma a la gestión de inventarios, y consiste en adaptar el método de aproximación del valor parcial esperado desarrollado por Brown (1959) a la distribución gamma.

Inicialmente, para hacer que la distribución gamma dependa únicamente de un parámetro (y no de dos, el de forma y el de escala como es habitual) la variable aleatoria gamma que representa a la demanda, se convierte en una "variable aleatoria gamma regular", según la siguiente proposición (demostrada en el apéndice de Snyder (1984)):

Proposición: Si X es una variable aleatoria que sigue una distribución gamma de media μ y desviación típica σ , entonces la variable Z obtenida de la transformación:

$$Z = X/\mu \tag{8}$$

posee una distribución gamma que depende sólo de un parámetro, llamado coeficiente de variación de X.

En resumen, el procedimiento para obtener el punto de pedido dado un determinado nivel de servicio es como sigue:

1-Calcular la media (MLD), desviación estándar (SLD) y coeficiente de variación de la demanda (XLD) en el periodo de aprovisionamiento.

2-Calcular el lado derecho de la expresión (9), despreciando el segundo término de la misma, correspondiente a las desviaciones del inventario por debajo del punto de pedido, con el fin de obtener el valor de la esperanza parcial regular.

$$E\left(XLD - ROP\right)^{+} = \left(1 - CLS\right) * Q + E\left(XLD - ROP - Q\right) \tag{9}$$

3-Usando el coeficiente de variación obtenido en (1) y el valor de la esperanza parcial obtenida en (2), podemos, a través de la tabla 2 de Snyder (1984) obtener el correspondiente punto de pedido regular (rop).

4-Un vez determinado el rop, se puede calcular el valor de ROP como ROP=rop×MLD.

El método de Snyder (1984) puede utilizarse en entornos de revisión continua y periódica, como demuestra su utilización en Dunsmuir y Snyder (1989)

Años más tarde, Segerstedt (1994) propone un modelo de gestión de inventarios únicamente para ítems con patrón de demanda intermitente basado en la idea propuesta por Croston de realizar, por separado, la previsión del intervalo entre demandas no nulas del tamaño de las mismas, y del periodo de aprovisionamiento, tratado también como variable. El modelo propuesto se basa en estas tres previsiones, llevadas a cabo mediante alisado exponencial simple, para determinar cuándo lanzar una nueva orden en función del nivel de servicio al cliente objetivo. La notación utilizada se describe a continuación:

$P\{X \leq y\}$	:=	Probabilidad de que una variable estocástica *X* sea menor o igual que *y*
T_i	:=	Tiempo transcurrido entre la *i-ésima* y la *(i-1)-ésima* orden de demanda *i=1,2,.. N*, distribuido según una *gamma(λ,r)*.
Y	:=	Periodo de aprovisionamiento, distribuido según una *gamma(μ,n)*.
X_i	:=	Tamaño de la orden de demanda que tiene lugar en *Ti* distribuido según una *gamma(η,m)*.
Λ	:=	Número de ordenes de demanda que tiene lugar durante el periodo de aprovisionamiento más el tiempo de inspección.
t_w	:=	Tiempo transcurrido desde la última demanda.
t_1	:=	Tiempo transcurrido entre inspecciones de inventario.
S	:=	Stock físico disponible.
RO	:=	Tamaño de las órdenes de reaprovisionamiento ya lanzadas.
$Serv$	:=	Nivel de servicio al cliente objetivo.
c	:=	$t_w + t_1$.
AI	:=	$S+RO$.

El modelo se fundamenta en el cálculo de dos probabilidades: (1) la probabilidad de que se produzcan *N* órdenes de demanda antes de que se pueda realizar un reaprovisionamiento; y (2) la probabilidad de que la demanda acumulada sea menor o igual que el nivel de inventario:

(1)

$$
\begin{aligned}
&P\left\{\sum_{i=1}^{N} T_i - t_w \leq Y + t_I\right\} = P\left\{\sum_{i=1}^{N} T_i \leq Y + c\right\} = \\
&= \int_0^{\infty}\int_0^{y+c} \frac{(1\ t)^{r-1}}{(r-1)!} 1\ e^{-1t} dt \times \frac{(my)}{(n-1)!} m e^{-my} = \\
&= 1 - e^{-1c} m^{n} \sum_{i=1}^{N-1} 1^{\,i} \sum_{j}^{i} c^{j} \times \frac{(n-1+i-j)!}{(n-1)!\, j!\, (i-j)!\, (1+m)^{n+i-j}}
\end{aligned}
\qquad (10)
$$

(2)

$$P\left\{\sum_{i=1}^{N} X_i \le AI\right\} = \int_0^{AI} \frac{(\mathrm{h}x)^{Nm-1}}{(Nm-1)!}\mathrm{h}e^{-\mathrm{h}x}dx =$$
$$= 1-\mathrm{h}^{Nm} e^{-\mathrm{h}AI}\sum_{i=0}^{Nm-1} AI^{i} \times \frac{1}{i!\,\mathrm{h}^{Nm-1}} \qquad (11)$$

A través de (10), (11) y *Serv* se determina cuando lanzar una orden de reaprovisionamiento de forma que cuando la probabilidad de que se produzcan *N* órdenes de demanda antes de que se pueda realizar un reaprovisionamiento (10) por la probabilidad de que la demanda acumulada sea mayor que el nivel de inventario [1-(11)] sea menor o igual que la probabilidad de rotura de stock *(1-Serv)* se lanzará un pedido, es decir:

$$P\left\{\sum_{i=1}^{N} T_i \le Y + c\right\}\cdot P\left\{\sum_{i=1}^{N} X_i \le AI\right\} \le (1 - Serv) \qquad (12)$$

Haddock et al. (1994) proponen una regla de decisión heurística sencilla para gestionar ítems con patrones de demanda intermitente y de lento movimiento. Con dicha regla se pretende sistematizar cuándo pedir y en qué cantidad y su objetivo es determinar el valor óptimo de Q que minimice el coste total asociado al inventariado de ítems de lento movimiento. El intervalo entre demandas no nulas así como el tamaño de las órdenes se modelan según una función de distribución de Poisson. Sin embargo la heurística no funciona tan bien como cabría esperar al comparar los resultados obtenidos frente a los que proporciona la EOQ (modelo determinista).

Vereecke y Verstraeten (1994) proponen un algoritmo que permite calcular el punto de pedido para un nivel de servicio objetivo basado en el concepto del “Package Poisson” que consiste en modelar el intervalo entre demandas no nulas mediante una función de distribución de Poisson, mientras que la variable que identifica el tamaño de las órdenes de demanda es igual a *f* veces un valor constante. La mayor dificultad del modelo radica en calcular dicho valor, denominado $\mu_{paquete}$. Para ver cómo se deduce consultar Vereecke y Verstraeten (1994). Una vez calculado $\mu_{paquete}$ el punto de pedido (ROP) para un nivel de servicio objetivo se calcula como sigue

$$P(DDLT \le ROP) = \sum_{DDLT=0}^{ROP} \mathrm{m}_{paquete}^{DDLT} \cdot \exp\left(-\mathrm{m}_{paquete}\right) \Big/ DDLT! \qquad (13)$$

cuyo valor se multiplica por *f* y se aproxima al entero superior para obtener el punto de pedido en unidades.

Yeh et al. (1997) proponen una herramienta gráfica sencilla para determinar el punto de pedido *s* dado un determinado nivel de servicio. Para ello, modelan la demanda como una distribución compuesta, formada por la distribución del tamaño de las órdenes de demanda A_i, por la distribución de la intensidad (frecuencia) de la demanda T_i (referida al intervalo entre demandas no nulas) y por la distribución del periodo de aprovisionamiento *Z*. Cada una ellas se consideran variables aleatorias independientes con una función de distribución gamma de parámetros α y β. Para elaborar la herramienta, analizan las componentes de la demanda y determinan los parámetros de cada una de las distribuciones Gamma asociadas a las mismas. Seguidamente determinan la probabilidad de rotura de stock para distintos valores de *s*.

En Strijbosch et al. (2000) se aplica el “Compound Bernoulli Method” (CBM) desarrollado por Janssen et al. (1998) junto con el método de previsión de Croston [Croston (1972)] bajo una política de gestión de inventarios *(s, Q)* en condiciones de revisión continua. La expresión (4) del CBM propuesta en Janssen et al. (1998) se simplifica como:

$$\mathbf{m}(s,Q)=s+\frac{Q}{2}-E\big(Z(L)\big) \tag{14}$$

Además los dos primeros momentos de las distribuciones $\widehat{Z}^{*}(L)$ y $\widehat{U}$ se calculan mediante estimación a través del método de Croston, y no con el modelado mediante distribuciones de Erlang.

Hasta el momento todos los modelos revisados, tanto en condiciones de revisión periódica como continua, tratan de modelar la demanda con una distribución que se ajuste lo más posible al comportamiento de la misma y cuyos parámetros han de ser estimados, en función de la los datos históricos que se poseen. Este planteamiento es bayesiano y paramétrico. Larson et al. (2001) dan un enfoque distinto al problema, presentando un modelo bayesiano no parámetrico que utiliza un proceso de Dirichlet para modelar la información que se posee de la demanda a priori y utilizarla para obtener la mejor política *(s, S)*. Para ello utilizan un modelo de programación dinámica, cuya formulación matemática puede consultarse en el apéndice de Larson et al. (2001).

4. Resumen de los modelos de gestión para demanda intermitente

A continuación, en la Tabla 1 se presenta un resumen con las características más relevantes de los modelos de gestión revisados en el presente artículo. De su examen resulta evidente que la investigación en dichos modelos se encuentra en plena actividad, por lo que se puede esperar nuevas aportaciones en esta materia en los próximos años.

Tabla 1. Modelos de gestión inventarios para demanda intermitente. [Elaboración propia]

Autor	Revisión	Descripción modelo	modelado demanda	*i.i.d.*	L	desviación en *s*
Schultz (1987)	Periódica *(R, S)*	Modelo con retraso, liberaliza pedidos *k* periodos después.	Tamaño de demanda e intervalo entre ellas se distribuye normalmente	Sí	Cero	No aplica
Dunsmuir y Snyder (1989)	Periódica *(R, s, Q)*	Determina *s* para un nivel de servicio al cliente objetivo	Proceso compuesto de Poisson, con distribución gamma para la variable tamaño de demanda	Sí	Constante duración n·R	Se desprecia
Janssen et al. (1998)	Periódica *(R, s, Q)*	CBM	Proceso compuesto de Bernoulli	Sí	Variable	Se tiene en cuenta
Leven y Segerstedt (2004)	Periódica *(R, Q)*	Modelo basado en el planteamiento del método de Croston	DDLT se modela con una distribución de Erlang	Sí	Constante	No aplica
Syntetos y Boylan (2006)	Periódica *(R, S)*	Modelo clásico con condiciones de optimización de servicio y coste	DDLT se modela con una distribución binomial negativa.	Sí	Constante	No aplica
Cardós et al. (2006)	Periódica *(R, S)*	Método exacto para determinar el nivel de servicio de ciclo para todos los ítems	DDLT se modela con una distribución de probabilidad discreta	sí	No se especifica	No aplica

Snyder (1984)	Continua *(s, Q)*	Modelo heurístico basado en el método de aproximación del valor parcial esperado	DDLT se modela con una distribución gamma	Sí	Constante	Se desprecia
Schultz (1989)	Continua *(0, 1)*	Modelo con retraso, liberaliza pedidos *k* periodos después.	Tamaño de demanda e intervalo entre ellas continuas	Sí	Constante	No aplica
Segerstedt (1994)	Continua	Heurística que determina cuándo pedir *Q*	La demanda está formada por tres variables que se distribuyen con funciones gamma.	Sí	Variable	No aplica
Haddock et al. (1994)	Continua	Heurística sencilla que determina cuándo y cuánto pedir	Tamaño de demanda e intervalo entre ellas según una función de distribución de Poisson	Sí	No se especifica	No aplica
Vereecke y Verstraeten (1994)	Continua *(s, Q)*	Calculan *s* a partir de un nivel de servicio objetivo	"Package Poisson"	Sí	Constante	Se desprecia
Yeh et al. (1997)	Continua *(s, Q)*	Herramienta gráfica para determinar *s* para un nivel de servicio objetivo.	La demanda está formada por tres variables que se distribuyen con funciones gamma.	Sí	Variable	Se desprecia
Strijbosch et al. (2000)	Continua *(s, Q)*	Combina método de Croston + CBM	Proceso compuesto de Bernoulli	Sí	Constante	Se tiene en cuenta
Larson et al. (2001)	Continua *(s, S)*	Modelo bayesiano, no paramétrico, que utiliza programación dinámica	La información de la demanda a priori se modela según un proceso de Dirichlet	--	No se especifica	No se especifica

Referencias

Brown, R. G. (1959). Statistical Forecasting for Inventory Control. McGraw Hill.

Cardós, M.; Miralles, C.; Ros, L. (2006). An exact calculation of the cycle service level in a generalized periodic review system. Journal of the Operational Research Society, Vol.57, No 10, pp. 1252-1255.

Croston, J. D. (1972). Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. Operational Research Quarterly, Vol.23, No 3, pp. 289-303.

Dunsmuir, W. T. M.; Snyder, R. D. (1989). Control of Inventories with Intermittent Demand. European Journal of Operational Research, Vol.40, No 1, pp. 16-21.

Haddock, J.; Iyer, N. T.; Nagar, A. (1994). A Heuristic for Inventory Management of Slow-Moving Items. Production Planning & Control, Vol.5, No 2, pp. 165-174.

Janssen, F.; Heuts, R.; de Kok, T. (1998). On the (R, s, Q) inventory model when demand is modelled as a compound Bernoulli process. European Journal of Operational Research, Vol.104, No 3, pp. 423-436.

Larson, C. E.; Olson, L. J.; Sharma, S. (2001). Optimal inventory policies when the demand distribution is not known. Journal of Economic Theory, Vol.101, No 1, pp. 281-300.

Leven, E.; Segerstedt, A. (2004). Inventory control with a modified Croston procedure and Erlang distribution. International Journal of Production Economics, Vol.90, No 3, pp. 361-367.

Sani, B.; Kingsman, B. G. (1997). Selecting the best periodic inventory control and demand forecasting methods for low demand items. Journal of the Operational Research Society, Vol.48, No 7, pp. 700-713.

Schultz, C. R. (1989). Replenishment Delays for Expensive Slow-moving Items. Management Science, Vol.35, No 12, pp. 1454-1462.

Schultz, C. R. (1987). Forecasting and Inventory Control for Sporadic Demand Under Periodic Review. Journal of the Operational Research Society, Vol.38, No 5, pp. 453-458.

Segerstedt, A. (1994). Inventory Control with Variation in Lead Times, Especially When Demand Is Intermittent. International Journal of Production Economics, Vol.35, No 1-3, pp. 365-372.

Snyder, R. D. (1984). Inventory Control with the Gamma Probability-Distribution. European Journal of Operational Research, Vol.17, No 3, pp. 373-381.

Strijbosch, L. W. G.; Heuts, R. M. J.; van der Schoot, E. H. M. (2000). A combined forecast - inventory control procedure for spare parts. Journal of the Operational Research Society, Vol.51, No 10, pp. 1184-1192.

Syntetos, A. A.; Boylan, J. E. (2006). On the stock control performance of intermittent demand estimators. International Journal of Production Economics, Vol.103, No 1, pp. 36-47.

Vereecke, A.; Verstraeten, P. (1994). An inventory management model for an inventory consisting of lumpy items, slow movers and fast movers. International Journal of Production Economics, Vol.35, No 1-3, pp. 379-389.

Yeh, Q. J.; Chang, T. P.; Chang, H. C. (1997). An inventory control model with gamma distribution. Microelectronics and Reliability, Vol.37, No 8, pp. 1197-1201.