

## Revisión de las definiciones y métodos de estimación del Fill Rate\*

Ester Guijarro, Manuel Cardós, Eugenia Babiloni, Sofía Estellés Miguel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia. [esguitar@upvnet.upv.es](mailto:esguitar@upvnet.upv.es), [mcardos@doe.upv.es](mailto:mcardos@doe.upv.es), [mabagri@doe.upv.es](mailto:mabagri@doe.upv.es), [soesmi@doe.upv.es](mailto:soesmi@doe.upv.es)

### Resumen

*La fracción de la demanda satisfecha es una de las medidas del servicio al cliente más relevantes en la gestión de inventarios. Por ello, existe una amplia literatura acerca de cómo estimarlo aunque el análisis de dicha literatura revela que no hay consenso ni sobre su definición ni sobre el método de cálculo. En este artículo se presenta una revisión de las definiciones y los métodos propuestos para calcular el fill rate y sus usos, distinguiendo entre aquéllos que lo interpretan como una medida a corto plazo, y los que lo entienden como medida a largo plazo.*

**Palabras clave:** gestión de inventarios, fill rate.

### 1. Introducción

La gestión de inventarios se ha convertido en un elemento clave dentro de la estrategia de muchas industrias. De ella depende la consecución de objetivos importantes para la organización, como es, entre otros, cumplir con un nivel de servicio al cliente previamente determinado, manteniendo unos costes razonables para ello. A la hora de diseñar las políticas de inventario, existen dos posibles estrategias: (1) minimizar los costes, o (2) minimizar el inventario medio fijando un nivel de servicio mínimo. Algunos autores suponen que los costes derivados de la escasez de existencias pueden expresarse de forma analítica sencilla, lo que les permite centrarse en la minimización de los costes. En la práctica, sin embargo, estos costes son difíciles de establecer y de estimar, por lo que se descartan a favor de un enfoque centrado en la satisfacción de un nivel de servicio preestablecido.

El término “servicio al cliente” se utiliza para describir la disponibilidad de los artículos cuando son necesarios para el cliente (Fogarty et al. (1991)). Cuando la demanda es aleatoria, la probabilidad de no poder satisfacer una parte de ésta con el stock disponible no puede despreciarse (Silver et al. (1998)). No obstante, una organización debe procurar dar un nivel de servicio adecuado y eventualmente elevado. Schneider (1978), Schneider (1981), Cohen y Lee (1990), Lee y Billington (1992), Silver et al. (1998), Fogarty et al. (1991), Axsäter (2000) presentan distintas métricas que permiten conocer y medir el nivel de servicio al cliente. Estas métricas se emplean en control de inventarios con dos finalidades principales: (1) analizar el rendimiento de los sistemas de gestión de inventarios, y (2) establecer los parámetros de las políticas de inventarios.

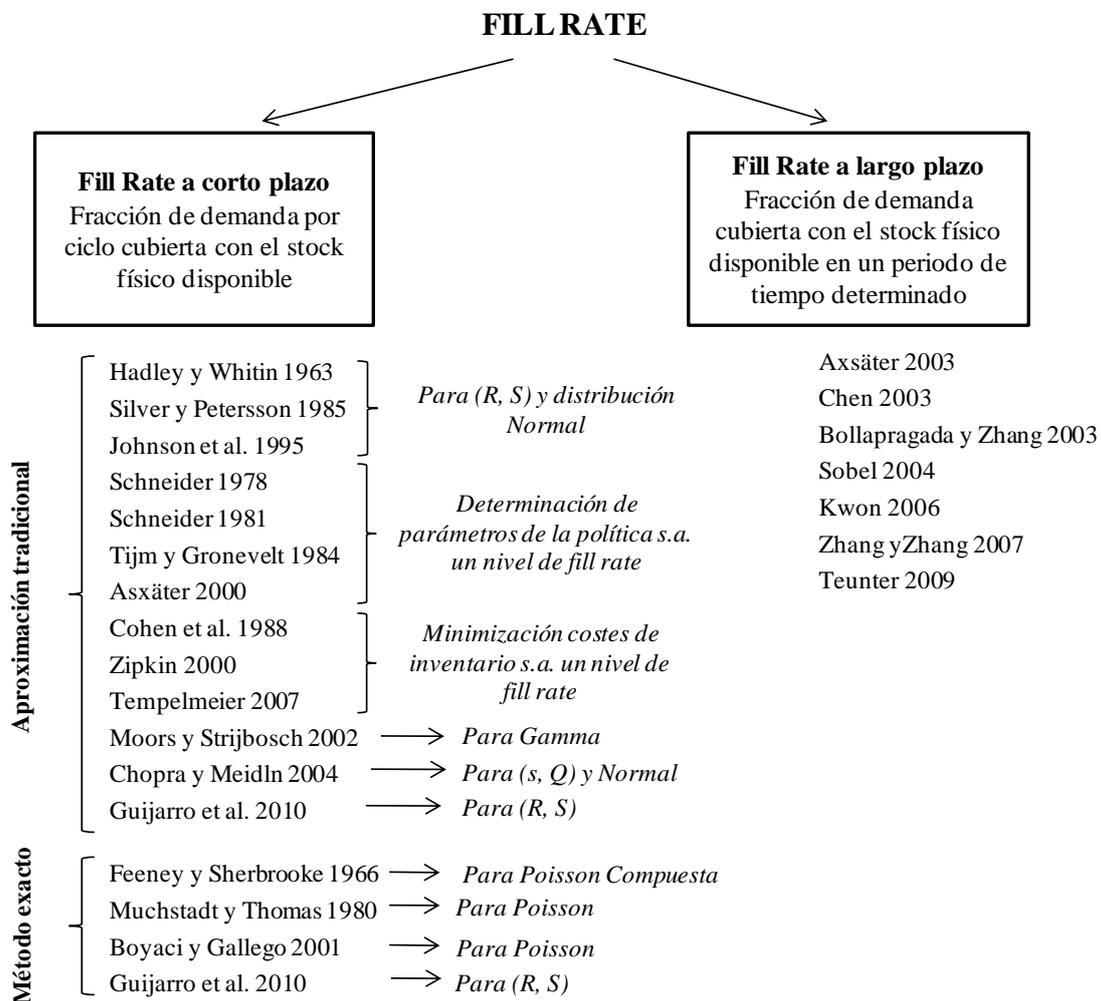
Fogarty et al. (1991) dividen las medidas de servicio en dos tipos: las porcentuales y las medidas de valor absoluto, aconsejando compararlas con un estándar previamente establecido. Silver et al. (1998) establecen cuatro métricas fundamentales de nivel de servicio al cliente: (i) el nivel de servicio de ciclo (CSL) que indica el porcentaje de ciclos en los que no existen

---

\* Este trabajo forma parte del proyecto GEMA financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, Ref. DPI 2007-65441

roturas de stock, también conocido como  $P_1$ ; (ii) El fill rate (FR) que se define como la fracción de demanda que se cubre con el stock físico disponible o  $P_2$ ; (iii) El ready rate o fracción de tiempo durante el cual el stock neto es positivo, también conocido como  $P_3$ ; y (iv) el TBS o tiempo medio entre roturas de stock; siendo el nivel de servicio de ciclo (CSL) y el fill rate las más empleadas y desarrolladas. Este artículo se centra en el fill rate cuya definición como en (ii) ha sido interpretada de distintas formas en la literatura. En el presente trabajo se realiza una revisión de las principales definiciones y métodos de estimación que aparecen en la literatura (Sección 2). Dentro de esta revisión, se distingue entre aquellos autores que estiman el fill rate a corto plazo, es decir, considerando la demanda satisfecha en cada periodo (Sección 2.1); y aquellos que lo calculan como medida a largo plazo, teniendo en cuenta la demanda cubierta en un plazo de tiempo determinado (Sección 2.2). Por último, las conclusiones y potenciales líneas de investigación se resumen en la Sección 3.

## 2. El Fill Rate y los horizontes temporales



**Figura 17:** Revisión de la literatura sobre usos y métodos de estimación del fill rate. [Elaboración propia]

La definición y estimación de fill rate han sido estudiadas ampliamente tanto en el ámbito práctico como en la literatura sobre la gestión de operaciones en los últimos sesenta años. No obstante, su definición resulta ambigua, puesto que no se especifica el periodo temporal al que se refiere, lo que provoca distintas interpretaciones de la misma definición. En este sentido Silver et al. (1998) sugieren dos posibles generalizaciones del fill rate, una que considera la

fracción de demanda satisfecha en cada periodo, y otra que analiza la fracción de demanda que debe atenderse con el stock físico disponible en un plazo determinado de tiempo, es decir, como medida a largo plazo. Por tanto, la definición del fill rate pueden concretarse según el horizonte temporal considerado: a corto plazo (c/p) y a largo plazo (l/p). La interpretación del fill rate a corto plazo ha generado un mayor número de aportaciones, aunque en los últimos años, la generalización a largo plazo ha suscitado un interés creciente en la comunidad científica. La sección 2.1 y Sección 2.2 se dedican a la generalización del fill rate a c/p y a l/p respectivamente.

## 2.1. El Fill Rate a corto plazo

El fill rate se define como el porcentaje de demanda que se atiende con el stock que hay en la estantería, sin incurrir en pérdida de ventas ni retrasos en los pedidos (Hadley y Whitin (1963), Silver et al. (1998), Axsäter (2000), Chopra y Meindl (2004)). Siguiendo esta definición, el FR puede expresarse como:

$$Fill\ Rate = E\left(\frac{\text{demanda satisfecha con el stock físico}}{\text{demanda total}}\right) \quad (1)$$

Esta definición no especifica el plazo temporal al que se refiere, sin embargo, para derivar un método de cálculo del fill rate, muchos son los autores que determinan dicho periodo temporal tomando la demanda de un ciclo, de modo que, en la práctica, calculan el fill rate para un ciclo, i.e. a corto plazo.

Johnson et al. (1995) presentan una revisión exhaustiva de las definiciones y estimaciones del fill rate. Tal y como señalan, en la mayoría de los trabajos, el fill rate se estima mediante la denominada aproximación tradicional, en lugar de utilizar la expresión (1). Esta aproximación examina el número de unidades demandadas que no pueden ser atendidas, en vez de examinar directamente la demanda satisfecha. Según esto, la aproximación tradicional del fill rate puede expresarse como el complementario del ratio entre la demanda esperada no satisfecha por ciclo y la demanda total esperada, es decir:

$$Fill\ Rate_{Aprox} = 1 - \frac{E(\text{demanda no satisfecha por ciclo})}{E(\text{demanda total por ciclo})} \quad (2)$$

Dicha aproximación tradicional y los métodos aproximados basados en ella propuestos por diversos autores para estimar el fill rate aparecen en prácticamente todos los libros de dirección de operaciones (por ejemplo, Silver et al. (1998)), Axsäter (2000), Cohen et al. (1988); Zipkin (2000), Chopra y Meindl (2004)), y han sido ampliamente empleados en industria. A pesar de que estas expresiones tradicionales son relativamente simples, tienen la limitación de no expresar el fill rate de forma exacta. Como demuestran los trabajos de Johnson et al. (1995) y Guijarro et al. (2010), calcular el fill rate con la expresión (2) lleva a subestimar su verdadero valor, lo que tiene importantes implicaciones para el sistema de gestión de inventarios, sobre todo si el fill rate se utiliza para determinar los parámetros de la política de inventario.

En las siguientes subsecciones se presenta una revisión de los artículos dedicados al cálculo del fill rate a corto plazo, distinguiendo aquellos autores que proponen métodos de estimación basados en la aproximación tradicional (expresión (2)), y aquellos que desarrollan expresiones exactas para determinar el fill rate en determinadas políticas de inventario y/o distribuciones de demanda.

### 2.1.1 Métodos basados en la aproximación tradicional para calcular el fill rate a corto plazo

A pesar de la subestimación que se obtienen del valor del fill rate cuando se utiliza la aproximación tradicional para su obtención, existe una amplia literatura que se centra en desarrollar métodos de estimación para la expresión (2) para distintas políticas de gestión de inventarios y, más concretamente, para estimar la demanda esperada no cubierta con el stock físico en cada ciclo, i.e.  $E(\text{demanda no satisfecha por ciclo})$ .

Unos de los primeros autores que hablan del fill rate y proponen una aproximación para el cálculo de la escasez esperada son Hadley y Whitin (1963). En su libro, presentan una expresión del fill rate cuando la demanda sigue una distribución de Poisson, que luego extienden al caso de la distribución Normal, cuando el inventario es gestionado mediante una política de revisión periódica  $(R, S)$ . En esta expresión calculan la escasez esperada como la diferencia entre las órdenes atrasadas en el momento  $t+R+L$  menos los pedidos pendientes en el momento  $t+L$ . Tal y como indican Johnson et al. (1995), esta aproximación subestima consistentemente el verdadero valor del fill rate como consecuencia del doble recuento que se produce de las unidades no servidas en el periodo anterior. En revisión periódica, se produce una situación de escasez cuando la demanda total de un periodo excede el valor del stock de referencia. Si en un periodo  $i$ , se produce esta situación, la demanda no satisfecha debe retrasarse al periodo siguiente,  $i+1$ . Si en este nuevo periodo la orden de reaprovisionamiento recibida no es suficientemente grande para satisfacerla, de nuevo se retrasa la demanda al periodo  $i+2$ . Este doble recuento provoca una sobreestimación de la escasez, y en consecuencia, una subestimación del valor del fill rate.

Silver y Peterson (1985) también reconoció que la expresión tradicional del fill rate no era exacta debido a este doble recuento de la demanda pendiente de los periodos anteriores. Para superar este problema, desarrollan una expresión mejorada de la presentada en Silver (1970) para el caso de los sistemas de inventarios revisados de forma continua y que posteriormente extienden al caso de revisión periódica. Pero como indican Johnson et al. (1995) esta expresión tampoco resulta un cálculo exacto del FR ya que asume que en cada periodo de revisión se ordenan exactamente  $Q$  unidades, cuando en las políticas de revisión periódica el tamaño de las órdenes varía de un periodo a otro en función de la demanda del periodo, que es estocástica.

Con la intención de superar el inconveniente del doble recuento, Johnson et al. (1995) proponen un nuevo método exacto para calcular el número esperado de unidades demandadas no satisfechas en un periodo cuando la demanda sigue una distribución Normal y el inventario utiliza una política de revisión periódica. Sin embargo, todas estas aproximaciones sufren del mismo problema de subestimación del FR, ya no tanto por el efecto de las unidades atrasadas, sino por el hecho de calcularlo a partir de la aproximación tradicional en lugar de tal y como se define, i.e., según la expresión (1).

Otro conjunto de autores (Schneider (1978), Schneider (1981) y Tijms y Groenevelt (1984), Axsäter (2000)) presentan métodos de aproximación para el cálculo del fill rate, que utilizan como restricción para determinar los parámetros de la política. En concreto, desarrollan métodos de cálculo para la expresión (2) que emplean para determinar el valor del punto de pedido, tomando un determinado valor del fill rate como restricción. A la hora de determinar un punto de pedido adecuado, pueden utilizarse bien restricciones sobre el nivel de servicio al cliente deseado, o bien basarse en los costes de escasez o pedidos pendientes. En la práctica, no obstante, suele ser más fácil especificar un determinado nivel de servicio (Axsäter (2000)). Basándose en esto, los trabajos de Schneider (1978) y Schneider (1981) presentan unas aproximaciones para establecer el punto de pedido de la política dado un nivel de servicio

determinado y con un tamaño de orden preestablecido. Tijms y Groenevelt (1984) extienden este trabajo, desarrollando un modelo para el sistema de inventario  $(s, S)$ , tanto en revisión periódica como en continua, cuando existen pedidos pendientes. Además, presentan aproximaciones obtenidas mediante el ajuste de las distribuciones de demanda hacia las distribuciones Gamma y Normal, respectivamente. Este modelo se basa en el análisis aproximado del proceso de renovación de la llegada de los pedidos de reposición, considerando un sistema de inventario estocástico en el que la secuencia de los momentos en los que se produce demanda puede describirse bajo un proceso de renovación. Años más tarde, Axsäter (2000) explica cómo determinar el punto de pedido dado un fill rate objetivo cuando el inventario es gestionado con una política de revisión continua  $(s, Q)$ . En este desarrollo, plantea una expresión analítica para una demanda con distribución de Poisson compuesta que sólo resulta exacta si se cumple que: (i) no existe posibilidad de tener demanda nula en el ciclo, y (ii) el nivel de inventario tampoco puede ser igual a cero. A partir de esta expresión, propone una aproximación para el caso de la distribución Normal, que no es exacta ya que desprecia el efecto de los undershoots (desviaciones en el punto de pedido).

Es bastante común en la práctica utilizar un determinado valor de fill rate objetivo como restricción para minimizar los costes de inventarios, lo cual ha generado una extensa literatura sobre distintos modelos de optimización de costes sujetos a un nivel determinado de servicio al cliente. Cohen et al. (1988) presentan un modelo para un sistema de inventario de revisión periódica  $(s, S)$  donde existen dos clases de prioridad de la demanda: el stock es utilizado en primer lugar para satisfacer la demanda de alta prioridad, y el resto está entonces disponible para cubrir la demanda de baja prioridad. En este trabajo, los autores proponen un modelo aproximado del fill rate para un sistema de ventas perdidas y evalúan su solución algorítmica para resolver el problema de optimización de costes con restricciones de niveles de servicio. Cohen et al. (1988); Zipkin (2000) desarrolla también un modelo de minimización de costes para el caso de distribución de demanda con Poisson compuesta. Más recientemente, Tempelmeier (2007) formula un modelo que minimiza los costes de instalación y de explotación en un sistema de revisión periódica dado un valor objetivo de FR, que mide con la probabilidad de que el inventario al final de cada periodo se convierta en negativo, y alternativamente, con la probabilidad de que la demanda se cubra con el stock físico disponible. En este trabajo, se asume que los niveles de servicio son suficientemente grandes como para asegurar que el inventario neto será una buena aproximación de las existencias disponibles.

Por otro lado, otro conjunto de autores han desarrollado distintos métodos de cálculo de la aproximación tradicional en condiciones específicas, bien para determinadas distribuciones de demanda, o bien para determinados modelos de gestión del inventario. En su artículo, Moors y Strijbosch (2002) presentan un método de cálculo exacto del fill rate, basado en la expresión (2), y que particularizan para el caso de que la demanda siga una distribución Gamma, el inventario se gestione con una política híbrida  $(R, s, S)$  y el leadtime sea constante. Hasta entonces, se habían propuesto diversas aproximaciones del fill rate derivadas, fundamentalmente, de la teoría de renovación y sujetas a condiciones específicas, como que la diferencia entre el stock de referencia y el punto de pedido  $(S - s)$  debía ser suficientemente grande en comparación con la media de la demanda en el periodo de revisión. En este trabajo, se presenta también una comparativa entre la expresión del fill rate propuesta por Tijms y Groenevelt (1984) y el método exacto de los autores, donde se demuestra que la aproximación de los primeros, para una distribución de demanda Gamma, es satisfactoria para el caso de niveles altos de servicio al cliente.

Chopra y Meindl (2004) desarrollan una expresión para el cálculo de la aproximación tradicional del fill rate presentando un método de cálculo de la escasez esperada por ciclo de

reaprovisionamiento, pero a diferencia de Hadley y Whitin (1963), Silver y Peterson (1985) o Johnson et al. (1995), lo hacen para el caso de que el sistema esté gestionado con una política de revisión continua ( $s, Q$ ) y la demanda siga una distribución Normal. Además, utilizan esta expresión para evaluar el stock de seguridad del sistema dado un determinado nivel de fill rate.

Guijarro et al. (2010) proponen un método de cálculo exacto de la aproximación tradicional para cualquier distribución de demanda en revisión periódica, ( $R, S$ ). Pero a diferencia de todos los autores anteriores, en lugar de calcular el valor esperado de las unidades no servidas, analizan la aproximación tradicional desde la óptica de las unidades demandas servidas, de forma que la expresión (2) puede reescribirse como sigue:

$$Fill\ Rate_{Approx} = \frac{E(\text{demanda satisfecha por ciclo})}{E(\text{demanda total por ciclo})} \quad (3)$$

### 2.1.2 Métodos exactos para la obtención del fill rate a corto plazo

Pocos son los trabajos en los que se presenta un método de cálculo exacto del fill rate basado en su propia definición (fracción de demanda satisfecha directamente con el stock físico disponible). Uno de los primeros artículos es el de Feeney (1966), quienes desarrollan un método exacto para calcular el FR a través de las probabilidades estacionarias de las unidades de reabastecimiento para una política ( $S-I, S$ ). En su desarrollo, asumen que la demanda sigue una distribución de Poisson compuesta Muckstadt (1980) siguen este mismo planteamiento en un sistema single-echelon cuando la distribución de la demanda es Poisson y simplifican la expresión desarrollada por Feeney (1966), obteniendo una formulación mucho más sencilla.

Otro trabajo donde se presenta un método de cálculo del fill rate que no utiliza la aproximación tradicional es el de Boyaci y Gallego (2001), quienes presentan un modelo de minimización de costes sujetos a una restricción del fill rate para una cadena de suministro multiescalón cuando la demanda sigue una distribución de Poisson. Pero en este trabajo, definen el fill rate como la “probabilidad límite de tener inventario físico positivo en el último escalón”, definición que no se ajusta al concepto estándar del fill rate, y que en realidad podría entenderse como la probabilidad de que no ocurra una rotura de stock, es decir, el CSL.

Recientemente, Guijarro et al. (2010) proponen un método de cálculo exacto de la expresión (1) del FR basándose en el cálculo de la demanda satisfecha en el ciclo. Esta expresión es válida para cualquier tipo de distribución discreta de la demanda. En ella, se especifica el periodo temporal, tomando el ciclo, y se desprecian aquéllos en los que la demanda es nula.

## 2.2. El Fill Rate a largo plazo

Tal y como se ha indicado, existe una segunda generalización del fill rate que considera la demanda que debe atenderse con el stock disponible a largo plazo, y propone una nueva definición del FR, entendiéndolo como la media de la demanda a largo plazo que se cubre con el stock disponible en la estantería y que puede expresarse de la siguiente manera:

$$Fill\ Rate_{l/p} = \lim_{t \rightarrow \infty} E\left(\frac{\text{demanda satisfecha con el stock físico en } t \text{ periodos}}{\text{demanda total en } t \text{ periodos}}\right) \quad (4)$$

Esta generalización ha sido menos estudiada en la gestión de inventarios, sin embargo, en los últimos diez años han aparecido trabajos que presentan métodos de cálculo para la expresión (4) Chen et al. (2003), a pesar de definir el fill rate sin determinar el espacio temporal, analizan el efecto del horizonte finito a largo plazo en el valor esperado del FR y proponen una expresión del fill rate en un sistema gestionado con revisión periódica, horizonte finito y

una distribución de demanda no específica. A partir de los resultados de su trabajo, concluyen que si se utiliza la expresión de horizonte infinito en un sistema de inventario de horizonte finito para establecer los niveles de inventario, podrán alcanzarse mayores niveles de fill rate que los deseados, pero se incurrirá en mayores costes de inventario que los necesarios.

En Axsäter (2003) se aborda el problema de la minimización de costes de inventario sujeto a alcanzar un determinado valor del fill rate en revisión continua y distribución de demanda Poisson compuesta. En este trabajo, el fill rate se define a largo plazo, como en (4). Posteriormente, siguiendo esta misma definición, Sobel (2004) presenta un método de cálculo exacto del fill rate cuando la demanda se distribuye con una función de distribución Normal y con una función de distribución Gamma y el inventario se revisa con política periódica. Dado que las expresiones exactas que el autor deriva son complejas, en el mismo trabajo se proponen fórmulas aproximadas únicamente para la distribución Normal.

Utilizando las fórmulas derivadas en Sobel (2004), Kwon et al. (2006) examina el problema de la minimización de costes de inventarios sujeto a un nivel de servicio al cliente, cuando la demanda sigue un proceso de distribución Normal y el sistema de inventario es en serie. Poco más tarde, Zhang y Zhang (2007) amplían las fórmulas de Sobel (2004), y presentan un método de cálculo del fill rate para cualquier distribución de demanda, trabajo que es revisado en detalle por Teunter (2009).

### **3. Conclusiones y futuras líneas de investigación**

En este artículo se presenta una revisión detallada del fill rate, una de las métricas de servicio al cliente más utilizada en la gestión de inventarios. A pesar de que existe una amplia literatura sobre ella, no hay un consenso ni sobre su definición ni sobre los métodos para su estimación. La mayoría de los autores proponen métodos de cálculo aproximados, utilizando la aproximación tradicional (expresión (2)). Por otro lado, la definición de esta métrica resulta ambigua, al no concretar el periodo temporal al que se refiere, lo que ha motivado que los diferentes autores interpreten el concepto de fill rate de dos maneras distintas, bien a corto plazo, tomando la demanda satisfecha por ciclo; o bien como una medida de servicio a largo plazo. Por tanto, puede concluirse que el fill rate es, en realidad, una familia de métricas que se diferencian entre sí según el periodo temporal al que se refieran. Las líneas de investigación futuras se deberían centrar en proponer métodos de estimación exactos del fill rate aplicables a cualquier patrón de demanda, para las distintas políticas de gestión.

### **Agradecimientos**

Este trabajo forma parte del proyecto GEMA financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, Ref. DPI 2007-65441.

### **Referencias**

Axsäter, S. (2000). *Inventory Control*. Kuwer Academic Publishers.

Axsäter, S. (2003). Note: Optimal Policies for Serial Inventory Systems Under Fill Rate Constraints. *Management Science*, Vol. 49, No 2, pp. 247-253.

Bollapragada, R. (2004). Managing two-stage serial inventory systems under demand and supply uncertainty and customer service level requirements.

- Boyaci, T.; Gallego, G. (2001). Serial Production/Distribution Systems Under Service Constraints. *Manufacturing Service Operations Management*, Vol. 3, No 1, pp. 43-50.
- Chen, J.H.; Lin, D.K.J.; Thomas, D.J. (2003). On the single item fill rate for a finite horizon. *Operations Research Letters*, Vol. 31, No 2, pp. 119-123.
- Chopra, S.; Meindl, P. (2004). *Supply Chain Management*. 2nd Edition<sup>th</sup> ed. Pearson. Prentice Hall.
- Cohen, M.A.; Kleindorfer, P.R.; Lee, H.L. (1988). Service Constrained (S, S) Inventory Systems with Priority Demand Classes and Lost Sales. *Management Science*, Vol. 34, No 4, pp. 482-499.
- Cohen, M.A.; Lee, H.L. (1990). Out of Touch with Customer Needs - Spare Parts and After Sales Service. *Sloan Management Review*, Vol. 31, No 2, pp. 55-66.
- Feeney, G.J. (1966). The (S-1,S) inventory policy under compound Poisson demand.
- Fogarty, D.W.; Blackstone, J.H.; Hoffman, T.R. (1991). *Production and Inventory Management*. Second Edition<sup>th</sup> ed. South-Western Publishing Co.
- Guijarro, E.; Babiloni, E.; Cardós, M. (2010). An exact calculation of the fill rate in a periodic review inventory policy. 16th International Working Seminar on Production Economics.
- Hadley, G.; Whitin, T. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall.
- Johnson, M.E.; Lee, H.L.; Davis, T.; Hall, R. (1995). Expressions for Item Fill Rates in Periodic Inventory Systems. *Naval Research Logistics*, Vol. 42, No 1, pp. 57-80.
- Kwon, I.H.; Kim, S.S.; Baek, J.G. (2006). A simulation based heuristic for serial inventory systems under fill-rate constraints. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 31, No 3-4, pp. 297-304.
- Lee, H.L.; Billington, C. (1992). Managing Supply Chain Inventory - Pitfalls and Opportunities. *Sloan Management Review*, Vol. 33, No 3, pp. 65-73.
- Moors, J.J.A.; Strijbosch, L.W.G. (2002). Exact fill rates for (R, s, S) inventory control with gamma distributed demand. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, No 11, pp. 1268-1274.
- Muckstadt, J.A. (1980). Are Multi-Echelon Inventory Methods Worth Implementing in Systems with Low-Demand-Rate Items.
- Schneider, H. (1978). Methods for Determining Re-Order Point of An (S,S) Ordering Policy When A Service Level Is Specified. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 29, No 12, pp. 1181-1193.
- Schneider, H. (1981). Effect of service-levels on order-points or order-levels in inventory models. *International Journal of Production Research*, Vol. 19, No 6, pp. 615-631.
- Silver, E.A.; Peterson, R. (1985). *Decisions system for inventory management and production planning*. 2nd<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons.

Silver, E.A.; Pyke, D.F.; Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. 3<sup>rd</sup> ed. Wiley.

Silver, E.A. (1970). A Modified Formula for Calculating Customer Service Under Continuous Inventory Review. *AIIE Transactions*, Vol. 2, No 3, pp. 241-245.

Sobel, M.J. (2004). Fill Rates of Single-Stage and Multistage Supply Systems. *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 6, No 1, pp. 41-52.

Tempelmeier, H. (2007). On the stochastic uncapacitated dynamic single-item lotsizing problem with service level constraints. *European Journal of Operational Research*, Vol. 181, No 1, pp. 184-194.

Teunter, R.H. (2009). Note on the fill rate of single-stage general periodic review inventory systems. *Operations Research Letters*, Vol. 37, No 1, pp. 67-68.

Tijms, H.C.; Groenevelt, H. (1984). Simple Approximations for the Reorder Point in Periodic and Continuous Review (S,S) Inventory Systems with Service Level Constraints  
38. *European Journal of Operational Research*, Vol. 17, No 2, pp. 175-190.

Zhang, J.; Zhang, J. (2007). Fill rate of single-stage general periodic review inventory systems. *Operations Research Letters*, Vol. 35, No 4, pp. 503-509.

Zipkin, P.H. (2000). *Foundations of Inventory Management*. McGraw-Hill Higher Education.