

## **CÁLCULO DE LOS NIVELES DEL STOCK DISPONIBLE AL INICIO DEL CICLO MEDIANTE UN FORMALISMO FUZZY**

**ESTER GUIJARRO**

*esguitar@doe.upv.es*

*Universitat Politècnica de València / Departamento de Organización de Empresas  
Camino de Vera s/n, 46022, Valencia*

**MARÍA JOSÉ CANÓS DARÓS**

*Maria.J.Canos@uv.es*

*Universitat de València / Departamento de Matemáticas para la Economía y la Empresa  
Avda. de los Naranjos s/n, 46022, Valencia*

**EUGENIA BABILONI**

*mabagri@doe.upv.es*

*Universitat Politècnica de València / Departamento de Organización de Empresas  
Camino de Vera s/n, 46022, Valencia*

**LOURDES CANÓS DARÓS**

*loucada@omp.upv.es*

*Universitat Politècnica de València / Departamento de Organización de Empresas  
Camino de Vera s/n, 46022, Valencia*

Recibido (05/12/2019)

Revisado (14/10/2020)

Aceptado (25/11/2020)

**RESUMEN:** Una buena gestión de inventarios es fundamental para el funcionamiento de la empresa. Siguiendo una política de revisión continua y en un contexto de ventas perdidas, en este trabajo se propone el cálculo de los niveles de stock al inicio de ciclo usando técnicas fuzzy que buscan obtener una reducción de los costes computacionales e incluir en el modelo la incertidumbre sobre la demanda. Con este fin, después de describir la formalización teórica, se diseña un experimento con el que se muestra la aplicabilidad y potencialidad del método fuzzy propuesto.

*Palabras clave:* Fill rate, Fuzzy, Gestión de inventarios, Nivel de stock, Ventas perdidas.

**ABSTRACT:** Accurate inventory management is essential for the proper functioning of companies. Following a continuous review inventory policy under lost sales assumption, this paper proposes the estimation of on-hand stock levels at order delivery using fuzzy techniques that seek to obtain a reduction in computational costs and include demand uncertainty in the model. To this end, after describing the theoretical formalization, we design an experiment that shows the applicability and potentially of the proposed fuzzy method.

*Keywords:* Fill rate, Fuzzy, Inventory management, Lost sales, On-hand stock.

## 1. Introducción

El éxito de cualquier organización empresarial radica en su capacidad para suministrar, oportunamente, productos o servicios a sus clientes. La manera de lograr este éxito es tener suficientes unidades almacenadas para atender toda la demanda que se recibe. Sin embargo, en la realidad empresarial esto es prácticamente imposible ya que existen restricciones como el espacio limitado, el coste financiero de almacenamiento o el grado de incertidumbre inherente a la demanda. Por tanto, el problema consiste en buscar el equilibrio entre disponer de suficientes unidades para atender la demanda y minimizar el coste de tener dichas unidades almacenadas, es decir, buscar el equilibrio entre los costes asociados a la gestión de inventarios y el servicio al cliente. Como es obvio, tanto para determinar los niveles de servicio al cliente como para calcular los costes del sistema de inventarios, es necesario conocer cuál es el nivel del stock físico justo después de recibir una orden de aprovisionamiento (es decir, al inicio del ciclo), pues será el stock disponible para satisfacer las demandas futuras. Este cálculo es uno de los desafíos más complejos a los que se enfrentan los gestores de inventarios, máxime en situaciones de crisis, en las que este problema se revela como fundamental para la adecuada prestación de servicios a la población. Como muestra de esta afirmación, algunos ejemplos de gestión de inventarios en instituciones médicas de diferentes países que se han enfrentado a la reciente pandemia de COVID-19 pueden verse en Ojha *et al.* (2020) y Patrinley *et al.* (2020).

Con el objetivo de lograr ese equilibrio entre costes y servicio al cliente, los gestores de las empresas deben responder tres cuestiones básicas: (i) con qué frecuencia ha de examinarse el estado de su inventario; (ii) cuándo ha de lanzarse una orden de aprovisionamiento; y (iii) de qué tamaño ha de ser dicha orden (Silver, 1981). Responder estas tres cuestiones supone establecer cuál será la política de inventario de la empresa. Tradicionalmente, las políticas de inventarios se clasifican en dos grandes grupos: las políticas de revisión continua y las de revisión periódica (Silver *et al.*, 2017). Las primeras son aquellas en las que se conoce el número de ítems almacenados en cada instante y cada vez que se vende una unidad o se recibe un pedido se registra dicha transacción. Por su parte, las políticas de revisión periódica son aquellas en las que el inventario se revisa cada cierto periodo de tiempo y, en función de su nivel, se lanza una orden de aprovisionamiento. Otro aspecto fundamental para lograr el equilibrio entre costes y servicio, y que es independiente de la política de inventario seleccionada, es el procedimiento de gestión de la empresa cuando se produce una rotura de stock, es decir, cuando no se dispone de unidades suficientes y por tanto no puede atenderse la demanda recibida. Básicamente, se distinguen dos procedimientos de control extremos (Hadley y Whitin, 1963). El primero consiste en diferir la demanda que no puede servirse y atenderla en cuanto se recibe en el sistema una orden de aprovisionamiento suficientemente grande. El segundo consiste en perder la totalidad de la demanda que no puede atenderse con el stock disponible en ese momento. Gran parte de la investigación de inventarios se ha centrado en el primer caso, principalmente porque este supuesto es más fácil de formular y analizar (Bijvank *et al.*, 2014; Zipkin, 2008a, 2008b). Sin embargo, hay muchas situaciones prácticas en las que diferir la demanda no es factible, como sucede en los mercados de venta al por menor (Johansen, 2005), en el sector de repuestos de maquinaria, en el sector de servicios (Diels y Wiebach, 2011) o en los mercados de materias primas donde el cliente encuentra fácilmente otra empresa o proveedor que pueda satisfacer sus necesidades.

Este trabajo aborda el problema del cálculo de los niveles de stock justo después de recibir una orden de aprovisionamiento en un contexto de ventas perdidas, con la novedad de hacerlo mediante la aplicación de técnicas fuzzy (Zadeh, 1965) basadas en la incertidumbre que introduce la demanda real. Más concretamente, se propone un método de cálculo de dichos niveles de stock cuando el inventario se gestiona con una política de revisión continua. En la literatura pueden encontrarse diversas expresiones para la obtención de estos niveles de stock cuando el inventario se gestiona mediante políticas de revisión periódica (véanse, por ejemplo, Bijvank y Johansen, 2012; Cardós *et al.*, 2017; Cardós y Babiloni, 2011a). Sin embargo, en un contexto de ventas perdidas y revisión continua, hasta donde los autores

conocen, solo en (Cardós y Babiloni, 2011b) se presenta una expresión para la determinación de los niveles del stock disponible. Este método se basa en el cálculo de matrices de probabilidades de transición de los niveles del stock físico durante el ciclo de aprovisionamiento de modo que, a partir de la convergencia de estas matrices, se obtiene el vector de probabilidades del stock. La dificultad de esta expresión radica en que la convergencia de las matrices requiere un gran esfuerzo computacional, lo que dificulta enormemente su implementación en los sistemas de información de las empresas. Todo ello, junto con la incertidumbre inherente a la demanda recibida, justifica la aplicación de técnicas fuzzy en el cálculo de los niveles de stock disponible. El método que se propone en este artículo presenta buenos resultados en la estimación de los niveles de stock, con la ventaja de que logra reducir considerablemente el esfuerzo computacional inherente al cálculo lo que, desde una óptica práctica, representa una importante reducción de costes. Es, además, un método sencillo y fácilmente implementable, lo que potencia su aplicabilidad en las empresas.

El resto de este artículo se estructura del siguiente modo. En la sección 2 se plantea el problema y se introducen sus hipótesis y notación. En la siguiente sección se desarrolla el método propuesto para el cálculo de los niveles de stock al inicio del ciclo mediante técnicas fuzzy. En la sección 4 se presentan unos ejemplos ilustrativos del comportamiento del método desarrollado en este trabajo frente al existente en la literatura, tanto en el cálculo del vector de los niveles de stock como cuando este vector se emplea en el cálculo del nivel de servicio. Para ello, se diseña un experimento que combina distintos datos de entrada relacionados con los parámetros de la política de inventarios y con la gestión de la empresa. Por último, se resumen las principales aportaciones y conclusiones de este trabajo.

## 2. Planteamiento del problema

Como se ha dicho, este trabajo se centra en políticas de inventarios de revisión continua, concretamente, en la política  $(s, Q)$  en la cual cada vez que el stock alcanza un nivel igual o menor que el punto de pedido,  $s$ , se lanza una orden de aprovisionamiento constante de tamaño  $Q$ . Esta orden se recibe en el sistema transcurrido un plazo de reaprovisionamiento  $L$  conocido y constante. Se asumen, además, las siguientes hipótesis: (i) el tiempo es discreto y está organizado en una sucesión numerable e infinita de instantes igualmente espaciados; (ii) la demanda de un período se satisface con el stock disponible al comienzo de ese período; (iii) solo existe una orden de aprovisionamiento lanzada cada vez, lo que implica que siempre se cumple la condición  $s < Q$ ; y (iv) la demanda que no puede ser servida, se pierde.

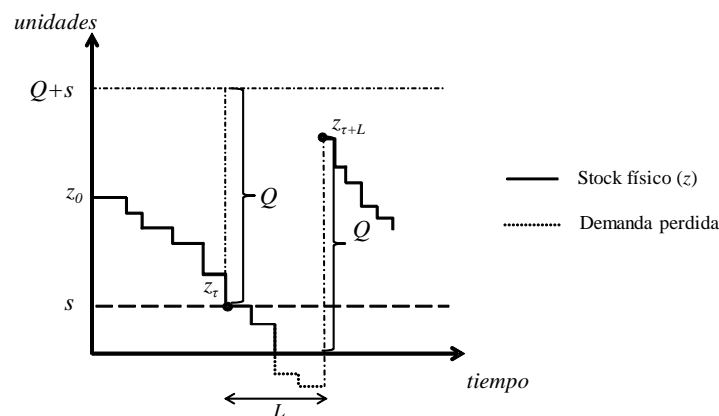


Figura 1. Evolución del stock en una política de inventarios  $(s, Q)$  en un contexto de ventas perdidas

La Figura 1 muestra un ejemplo de la evolución del stock en una política  $(s, Q)$  cuando se produce una rotura de stock durante el plazo de aprovisionamiento. En ella,  $z_0$  representa las unidades de stock físico disponible al inicio del ciclo. A medida que se va recibiendo demanda, el stock disminuye hasta alcanzar el punto de pedido, tomando el stock físico un valor igual a  $z_{\tau}$ . En ese momento, se lanza una orden de aprovisionamiento de tamaño  $Q$  que llega al sistema transcurridos  $L$  periodos. Durante el plazo de

aprovisionamiento se atiende la demanda que se recibe hasta que el stock físico se agota y, a partir de ese momento, toda la demanda que se recibe, se pierde. Cuando llega al sistema la orden de aprovisionamiento lanzada, el stock físico aumenta hasta  $z_{\tau+L}=Q$ .

La notación que aparece en la figura y en el resto del artículo es la siguiente:

- $s$  = punto de pedido (unidades),
- $Q$  = orden de aprovisionamiento (unidades),
- $L$  = periodo de aprovisionamiento (tiempo),
- $z_t$  = stock físico en el instante de tiempo  $t$  (unidades),
- $z_0$  = stock físico al inicio de un ciclo de aprovisionamiento (unidades),
- $z_\tau$  = stock físico en el instante en el que se alcanza el punto de pedido (unidades),
- $z_{\tau+L}$  = stock físico justo después de recibir una orden de aprovisionamiento (unidades),
- $D_t$  = demanda acumulada durante  $t$  periodos de tiempo consecutivos (unidades),
- $D_\tau$  = demanda acumulada desde el inicio del ciclo hasta que se alcanza el punto de pedido (unidades),
- $f_t(\cdot)$  = función de probabilidad de  $D_t$ ,
- $F_t(\cdot)$  = función de distribución de  $D_t$ ,
- $g(\cdot)$  = función de probabilidad de  $D_\tau$
- $G(\cdot)$  = función de distribución de  $D_\tau$
- $X^+$  = máximo  $\{X, 0\}$  para cualquier expresión  $X$ .

La mayoría de la literatura asume que la demanda no servida puede diferirse y servirse en el ciclo siguiente, lo que lleva a modelos matemáticos más sencillos de formular y analizar (Bijvank y Vis, 2011; Bijvank *et al.*, 2014; Cardós *et al.*, 2017). Esto se debe a que, bajo esta hipótesis, el denominado stock neto (que se calcula como la diferencia entre el stock físico disponible y la demanda pendiente de servir) puede tomar valores negativos, que representan las roturas de stock. De este modo, el stock justo después de recibir una orden de aprovisionamiento puede calcularse simplemente como la diferencia entre la posición de inventario en el instante que se lanza una orden ( $IP = z_t + Q$ ) y la demanda recibida durante el periodo de aprovisionamiento ( $D_L$ ). En un contexto de ventas perdidas, en cambio, el stock neto no puede tomar valores negativos ya que cuando el stock físico se agota la demanda recibida se pierde. Por tanto, el stock físico tras recibir la orden ya no puede obtenerse directamente como  $z_{\tau+L} = z_\tau + Q - D_L$  sino que será  $z_{\tau+L} = [z_\tau - D_L]^+ + Q$ , lo que dificulta considerablemente su determinación. Justamente este trabajo se centra en el cálculo de los niveles de stock físico tras recibir una orden ( $z_{\tau+L}$ ) en un contexto de ventas perdidas a través de la aplicación de técnicas fuzzy en un entorno de incertidumbre.

### 3. Resolución mediante una estrategia fuzzy

Para calcular los niveles de stock después de recibir una orden bajo las hipótesis anteriores, Cardós y Babiloni (2011b) desarrollan un método probabilístico que modela la evolución del stock físico como una cadena de Markov regular entre dos ciclos consecutivos. La convergencia de las matrices de transición es necesaria para obtener el vector propio, lo cual presenta dos importantes problemas: (i) requiere un gran esfuerzo computacional, especialmente para valores altos de  $Q+s$  en los que el número de iteraciones aumenta considerablemente; y (ii) no introduce en el modelo la incertidumbre inherente a la demanda.

Es por ello que, a pesar del atractivo de las cadenas de Markov como herramienta para la resolución del problema, si el conocimiento del entorno es incierto en lugar de probabilístico, como ocurre en este modelo, es apropiado considerar cadenas con datos fuzzy en lugar de probabilidades. A este respecto, la propuesta de Kauffmann y Gil Aluja (1991), basada en la teoría markoviana, pero que no emplea leyes de probabilidad sino de posibilidad, permite construir el siguiente método de resolución para el problema.     

Se representan los niveles de stock tras recibir la orden como una cadena de Markov imprecisa,  $M$ , con un conjunto finito de estados  $\{0, 1, \dots, s+Q\}$ . Sea  $M = M_\tau \cdot M_L$  la matriz de transición entre dos ciclos consecutivos. Se asume que es posible evaluar en  $[0, 1]$  la posibilidad de ocurrencia de que el sistema se encuentre en el estado  $i$ ,  $i=0, s+Q$ . Bajo estas hipótesis pueden calcularse las matrices de

transición posibilísticas, tanto  $\overline{\overline{M}}_\tau = \{m_{ji}\}$ , que representa la matriz de transición posibilística del stock físico desde el inicio del ciclo hasta alcanzar el punto de pedido, como  $\overline{\overline{M}}_L = \{m_{jk}\}$ , que representa la matriz de transición desde el momento en que se alcanza el punto de pedido y se lanza una orden hasta que se recibe dicha orden transcurridos  $L$  periodos de tiempo.

### 3.1. Cálculo de $\overline{\overline{M}}_\tau$

Para la obtención de  $\overline{\overline{M}}_\tau$  es necesario conocer el balance de stock en un momento crucial del ciclo: cuando se alcanza el punto de pedido y se lanza, por tanto, una orden de aprovisionamiento. En ese instante, y bajo la hipótesis de ventas perdidas, el balance de stock se define como  $z_\tau = [z_0 - D_\tau]^+$ , lo que lleva a distinguir dos posibles situaciones:

- Que en el mismo instante que se alcanza el punto de pedido se produzca una rotura de stock porque la demanda recibida es superior al stock físico disponible y, por lo tanto,  $Pos(D_\tau \geq z_0) = 1 - G(z_0 - 1)$ .
- Que no se agote el stock físico y, tras servir la demanda, siga quedando stock disponible para satisfacer la demanda que se pueda recibir durante el periodo de aprovisionamiento, es decir,  $Pos(D_\tau = z_0 - z_\tau) = g(z_0 - z_\tau)$ .

De este modo, los componentes de la matriz  $\overline{\overline{M}}_\tau$  pueden calcularse como

$$Pos(z_\tau/z_0) = \begin{cases} 1 - G(z_0 - 1/z_0) & z_\tau = 0 \\ g(z_0 - z_\tau/z_0) & z_\tau > 0 \end{cases} \quad (1)$$

### 3.2. Cálculo de $\overline{\overline{M}}_L$

Análogamente, para el cálculo de  $\overline{\overline{M}}_L$  también es necesario conocer el balance de stock en otro momento crucial del ciclo, en este caso, justo después de recibir una orden de aprovisionamiento. Considerando que la demanda no servida se pierde, el balance de stock tras recibir una orden se calcula como  $z_{\tau+L} = [z_\tau - D_L]^+ + Q$ . Se distinguen también aquí dos posibles situaciones:

- Que se produzca un agotamiento de stock durante el periodo de aprovisionamiento y, por tanto, solo pueda servirse una parte de la demanda recibida, es decir,  $Pos(D_L \geq z_\tau) = 1 - F_L(z_\tau - 1)$ .
- Que no se agote el stock en  $L$  ya que la demanda recibida durante el plazo de aprovisionamiento es menor que el stock disponible en el momento de lanzar la orden, es decir,  $Pos(D_L = z_\tau - z_{\tau+L} + Q) = f_L(z_\tau - z_{\tau+L} + Q)$ .

De este modo, los componentes de la matriz  $\overline{\overline{M}}_L$  pueden calcularse como

$$Pos(z_{\tau+L}/z_\tau) = \begin{cases} 1 - F_L(z_\tau - 1) & z_{\tau+L} - Q = 0 \\ f_L(z_\tau - z_{\tau+L} + Q) & z_{\tau+L} - Q > 0 \end{cases} \quad (2)$$

### 3.3. Cálculo del vector de posibilidades del stock al inicio del ciclo

En el método propuesto en Cardós y Babiloni (2011b), el vector de probabilidades se obtiene cuando las matrices de transición se estabilizan, es decir, cuando la diferencia entre filas tiende a cero, lo que suele requerir un gran esfuerzo computacional, especialmente para valores altos de  $Q+s$ . El método propuesto en este trabajo reduce sustancialmente dicho esfuerzo calculando el vector de posibilidades, derivado de la cadena de Markov imprecisa, mediante la utilización de conjuntos fuzzy intervalares.

Dado que se construye la cadena de Markov imprecisa mediante funciones de posibilidad, es evidente que las coordenadas del vector propio de  $\overline{\overline{M}}$  van a ser fuzzy. Para su obtención, en lugar de buscar la

convergencia de las matrices, se propone calcular el vector propio con conjuntos fuzzy intervalares (Deschrijver y Kerre, 2003),

$$\begin{bmatrix} m_1^1 \\ \vdots \\ m_{s+Q+1}^1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} m_1^2 \\ \vdots \\ m_{s+Q+1}^2 \end{bmatrix} \dots \rightarrow \begin{bmatrix} m_1^k \\ \vdots \\ m_{s+Q+1}^k \end{bmatrix} \quad m_j^r \in \square^{s+Q+1} \quad r=1, \dots, k \quad (3)$$

En cada iteración se calcula la diferencia entre el máximo elemento y el mínimo de cada fila ( $t_i$ ), i.e.

$$\left| \max_k m_i^k - \min_k m_i^k \right| < t_i \quad 1 \leq i \leq s+Q \quad (4)$$

y se define el error  $t$  como el máximo valor de los  $t_i$ . El sistema se detiene cuando  $t$  alcanza un valor predefinido que representa el máximo error que el experto acepta. Por último, se construye con ello una función de pertenencia de un conjunto fuzzy de tipo 1.

#### 4. Ejemplos ilustrativos

El objetivo de esta sección es ilustrar el buen comportamiento del método desarrollado en este trabajo tanto en términos de cálculo del vector del stock físico y la reducción del esfuerzo computacional necesario para ello, como en la determinación de los niveles de servicio al cliente que se obtienen a partir del mismo.

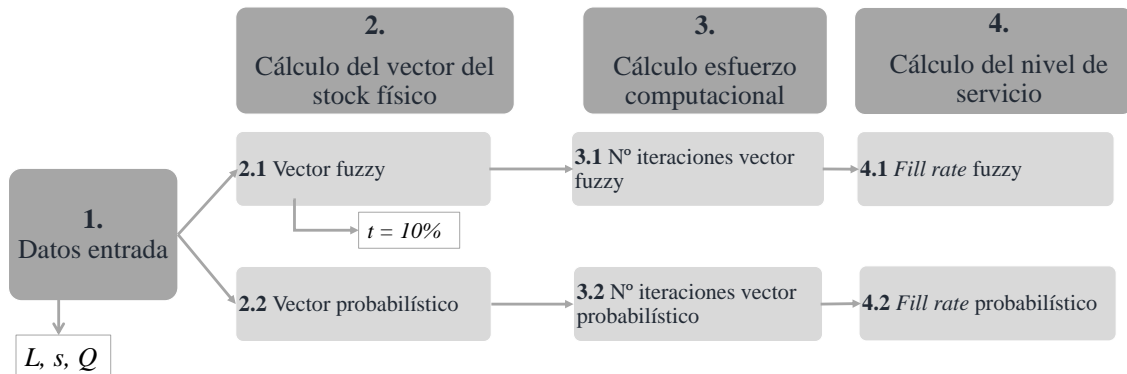


Figura. 2. Esquema del experimento diseñado

Para ello, se ha diseñado el siguiente experimento (Figura 2): en primer lugar, se combinan diferentes datos de entrada relacionados con los parámetros de la política de inventarios ( $L$ ,  $s$  y  $Q$ ) cuyos valores están resumidos en la Tabla 1. Con cada una de las combinaciones posibles (90 casos), se calcula, por un lado, el vector fuzzy propuesto en este trabajo y, por otro, el vector probabilístico propuesto en Cardós y Babiloni (2011b). Obtenidos ambos vectores, estos se emplean en la determinación del nivel de servicio. La importancia de conocer los niveles de stock al inicio de ciclo radica, precisamente, en que son necesarios para determinar los niveles de servicio de los clientes. De las distintas métricas que existen para calcular estos niveles de servicio (Axsater, 2000; Tempelmeier, 2000), la más utilizada en la práctica es la conocida como *fill rate* (tasa de llenado o  $\beta$ ) que se define como la fracción de demanda que puede servirse en un ciclo de reaprovisionamiento con el stock disponible al inicio del mismo (Brown, 1962). La ventaja de emplear esta métrica es que considera no solo la posibilidad de que el sistema se encuentre en una situación de agotamiento de stock sino que también da información sobre el tamaño de la demanda no servida (Tempelmeier, 2007) lo que justifica su utilización por parte de los gestores de inventarios. En este paso, se calcula el *fill rate* a partir de la expresión propuesta por Babiloni y Guijarro (2020) para una

política ( $s$ ,  $Q$ ) y un contexto de ventas perdidas utilizando los niveles del stock obtenidos tanto con el vector fuzzy como con el vector probabilístico.

Tabla 1. Datos y parámetros del experimento

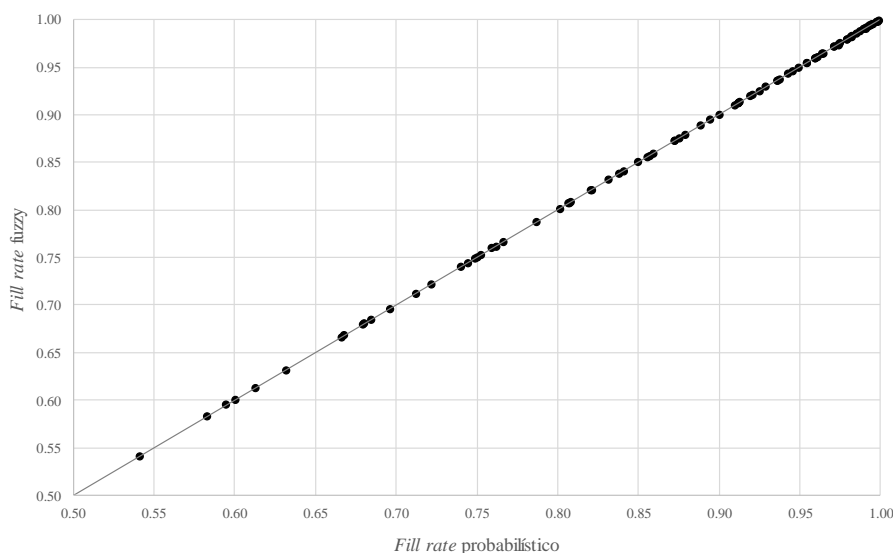
Parámetros inventario	Datos del experimento
L	2, 3
s	2, 3, 4
Q	5, 7, 10

Como resultado del experimento se presenta, en primer lugar, un ejemplo del cálculo del vector de los niveles de stock tras recibir la orden tanto con el método probabilístico propuesto en Cardós y Babiloni (2011b) como con el método fuzzy desarrollado en este trabajo (Tabla 2). En ella se observa que el método fuzzy presenta un buen comportamiento en la obtención del vector del stock físico, pues el error que comete en cada elemento del mismo es menor al 0.02%. Además, logra reducir considerablemente la complejidad computacional necesaria para su obtención pues con el método fuzzy tan solo es necesaria una iteración para alcanzar el nivel máximo de tolerancia preestablecido, en este caso  $t=10\%$ , mientras que el método probabilístico requiere de ocho iteraciones para alcanzar la convergencia.

Tabla 2. Cálculo de los vectores del stock físico disponible para  $s=2$ ,  $Q=5$ ,

$L=3$  y  $t=10\%$

vector	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	iteraciones
Cardós y Babiloni (2011b)	0	0	0	0	0	0.734959	0.191013	0.074027	8
Fuzzy	0	0	0	0	0	0.734996	0.190991	0.074013	1

Figura 3. Comparativa del comportamiento del *fill rate* obtenido con el vector fuzzy y con el probabilístico

En segundo lugar, la Figura 3 muestra los resultados obtenidos en los 90 casos del experimento, cuando se establece una tolerancia del 10%. Como puede observarse, el método fuzzy propuesto presenta un buen resultado para todos los niveles del *fill rate*. En los casos en los que el *fill rate* presenta valores elevados (superiores al 90%), la mayoría de la demanda se sirve con el stock físico disponible y, por tanto, no hay apenas roturas de stock, de ahí que las dificultades añadidas por la hipótesis de ventas perdidas sean menores, lo que justifica que los resultados obtenidos en esos casos sean buenos. Sin

embargo, para valores medios y bajos del *fill rate* (entre el 50% y el 90%), las diferencias entre el contexto de diferimiento de demanda y el de ventas perdidas son mayores, lo que hace que las dificultades matemáticas de este último aumenten pudiendo esperarse un peor resultado. No obstante, el método fuzzy desarrollado en este trabajo presenta un buen resultado para todos los valores analizados.

## 5. Conclusiones y futuras líneas de investigación

Uno de los desafíos a los que se enfrentan los gestores de inventarios es conocer cuáles son los niveles de stock disponible tras recibir una orden de aprovisionamiento, pues de ellos dependen tanto los costes del sistema como los niveles de servicio a los clientes. Sin embargo, dada la incertidumbre inherente de la demanda, conocer y calcular estos niveles es complejo en la práctica empresarial. Este trabajo se centra en la resolución de este problema mediante técnicas fuzzy. Concretamente, se resuelve el problema para una política de revisión continua ( $s, Q$ ) en un contexto de ventas perdidas. Bajo estas mismas hipótesis, Cardós y Babiloni (2011b), proponen un método probabilístico basado en modelar la evolución del stock físico como una cadena de Markov regular entre dos ciclos consecutivos. Sin embargo, no introducen en el modelo la incertidumbre inherente a la demanda y se requiere de grandes esfuerzos computacionales, especialmente para valores altos de  $Q+s$ , para la obtención del vector de probabilidades del stock físico. Para superar estas limitaciones, este trabajo propone un nuevo enfoque a través de una estrategia fuzzy para su resolución mediante la representación de los niveles de stock como una cadena de Markov imprecisa (Kaufmann y Gil Aluja, 1991).

Los ejemplos ilustrativos muestran que el método fuzzy propuesto presenta un buen comportamiento en la obtención del vector del stock físico después de recibir una orden con errores en su cálculo inferiores al 0.02%, y reduciendo considerablemente los costes computacionales necesarios para ello. Además, cuando el vector fuzzy es utilizado para determinar los niveles de servicio mediante el cálculo del *fill rate*, se obtienen muy buenos resultados para todos los valores del mismo, incluso para los inferiores al 90%, donde las dificultades del contexto de ventas perdidas podrían llevar a importantes diferencias por la existencia de más situaciones de roturas de stock. La potencialidad de este método, desde una óptica práctica, es que permite ser implementado de un modo sencillo en los sistemas de información superando así las limitaciones de los métodos existentes en la literatura.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Generalitat Valenciana a través del proyecto con referencia GV/2017/032.

## Referencias Bibliográficas

1. S. Ojha, A. M. Gupta, P. Nagaraju, P. Minal, P. and S. H. Sumathi, Challenges in platelet inventory management at a tertiary care oncology center during the novel coronavirus disease (COVID-19) pandemic lockdown in India. *Transfusion and Apheresis Science* **102868** (2020) 1-5.
2. J. R. Patrinely, S. T. Berkowitz, D. Zakria, D. J. Totten, M. Kurtulus and B. C. Drolet, Lessons from Operations Management to Combat the COVID-19 Pandemic. *Journal of Medical Systems*. **44**, 2020, 129.
3. E. A. Silver, Operations Research in Inventory Management: A Review and Critique, *Oper. Res.* **29** (1981) 628–645.
4. E. A. Silver, D. F. Pyke, D. J. Thomas, D. F. Pyke and D. J. Thomas, *Inventory and Production Management in Supply Chains* (CRC Press, 2017).
5. G. Hadley and T. Whitin, *Analysis of Inventory Systems* (Prentice-Hall, 1963).
6. M. Bijvank, W. T. Huh, G. Janakiraman and W. Kang, *Robustness of order-up-to policies in lost-sales inventory systems*, *Oper. Res.* **62** (2014) 1040–1047.
7. P. Zipkin, Old and New Methods for Lost-Sales Inventory Systems, *Oper. Res.* **56** (2008) 1256–1263.
8. P. Zipkin, On the structure of lost-sales inventory models, *Oper. Res.* **56** (2008) 937–944.



9. S. G. Johansen, Base-stock policies for the lost sales inventory system with Poisson demand and Erlangian lead times, *Int J Prod Econ.* **93** (2005) 429–437.
10. J. L. Diels and N. Wiebach, Customer reactions in Out-of-Stock situations: Do promotion-induced phantom positions alleviate the similarity substitution hypothesis?, No. 2011-021 (2011). SFB 649 discussion paper.
11. L. A. Zadeh, Fuzzy sets, *Inform Control.* **8** (1965) 338–353.
12. M. Bijvank and S. G. Johansen, Periodic review lost-sales inventory models with compound Poisson demand and constant lead times of any length, *Eur J Oper Res.* **220** (2012) 106–114.
13. M. Cardós, E. Guijarro and E. Babiloni, On the estimation of on-hand stocks for base-stock policies and lost sales systems and its impact on service measures, *Int J Prod Res.* **55** (2017) 4680–4694.
14. M. Cardós and E. Babiloni, Exact and approximate calculation of the cycle service level in periodic review inventory policies, *Int J Prod Econ.* **131** (2011a) 63–68.
15. M. Cardós and E. Babiloni, Exact and approximated calculation of the cycle service level in a continuous review policy, *Int J Prod Econ.* **133** (2011b) 251–255.
16. Bijvank, M., and I. F. A. Vis, Lost-Sales Inventory Theory: A Review, *Eur J Oper Res.* **215** (2011) 1–13.
17. A. Kaufmann and J. Gil Aluja, *Nuevas técnicas para la dirección estratégica.* (Universidad de Barcelona, 1991).
18. G Deschrijver and E. E. Kerre, On the relationship between some extensions of fuzzy set theory, *Fuzzy Set Syst.* **133** (2003) 227–235.
19. S. Axsäter, *Inventory Control.* (Kuwer Academic Publishers, 2000).
20. H. Tempelmeier, Inventory service-levels in the customer supply chain, *OR Spektrum.* **22** (2000) 361–380.
21. R. G. Brown, *Smoothing Forecasting and Prediction of Discrete Time Series.* (Prentice-Hall, 1962).
22. H. Tempelmeier, On the stochastic uncapacitated dynamic single-item lotsizing problem with service level constraints, *Eur J Oper Res.* **181** (2007) 184–194.
23. E. Babiloni and E. Guijarro, Fill rate: from its definition to its calculation for the continuous (s, Q) inventory system with discrete demands and lost sales, *Cent Eur J Oper Res.* **28** (2020) 35-43.