

Métricas desagregadas para la medición del impacto de una política de administración de inventario multi-eslabón

Juan Pablo Escorcía

Universidad Autonoma Del Caribe, Barranquilla, Colombia, juan.escorcía52@uautonoma.edu.co

Rene Amaya Mier

Universidad Norte, Barranquilla, Colombia, ramaya@uninorte.edu.co

Milton Soto Ferrari

Western Michigan University, Kalamazoo, Michigan, USA, miltonrene.sotoferrari@wmich.edu

ABSTRACT

An approach to increase the inventory performance of a supply chain is the multi-level inventory control policy. We provide a set of mathematical and disaggregate metrics to determine the parameters for a multi-level inventory control policy in supply chains, considering two single stages and calculating cost and cycle service level in a continuous review system. We develop an inventory analysis evaluation for the links studied in the network, with the aim of measure the overall influence of the implementation in a supply chain.

Keywords: Disaggregate metrics, multi-level inventory, average inventory, cycle service level.

RESUMEN

Una herramienta que permite desarrollar cadenas de suministros competitivas es la administración de inventario multi-eslabón, debido a que mediante esta se puede lograr un aumento en la coordinación en la gestión del inventario entre los miembros de la misma. En este artículo se desarrollan mediante modelación matemática un conjunto de métricas desagregadas, que permiten evaluar los niveles de inventario promedio y nivel de servicio de ciclo en una política de administración de inventario multi-eslabón, basada en un esquema de revisión continua para una cadena de suministro conformada por dos eslabones. Las métricas desarrolladas en la presente investigación permiten determinar el impacto que se tiene en la cadena de suministros al implementar este tipo de políticas de administración de inventarios.

Palabras claves: Métricas desagregadas, gestión de inventario, Inventario multi-eslabón, inventario promedio, nivel de servicio de ciclo.

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente las empresas pertenecientes a una cadena de suministros manejan sus inventarios de manera independiente, basando sus decisiones en el estado de los niveles inventarios y los objetivos de rendimiento desde un punto de vista local, ignorando con esto, las implicaciones que pueden tener sus decisiones en sus clientes y proveedores (Giannoccaro, Pontrandolfo, & Scozzi, 2003).

Una herramienta que permite desarrollar cadenas de suministros competitivas es la administración de inventario multi-eslabon, debido a que mediante esta se puede lograr un aumento de coordinación en la gestión de inventarios a través de las mismas, lo cual origina una disminución de los costos y un aumento del nivel de servicio (Gümüs & Güneri, 2007). Sin embargo, se encuentra en la literatura una carencia de aplicaciones que demuestren los beneficios que se pueden obtener con este tipo de políticas, debido a la carencia de métricas simples que permitan determinar aspectos importantes que se deben considerar al implementar una política de inventario tales como: niveles de inventario promedio y niveles de servicio en cada uno de los eslabones que conforman dicha cadena.

En la siguiente investigación se realizó un estudio de políticas de administración de inventario multi-eslabón en una cadena de suministro constituida por dos eslabones, en donde el eslabón 1 está conformado por un distribuidor y el eslabón 2 por un centro de distribución, bajo supuestos de demanda externa ajustada a distribución normal y lead time determinísticos. Se logró determinar métricas simples para el cálculo del nivel inventario promedio y nivel de servicio para el eslabón 1, eslabón 2 y la cadena de suministros, similar a las que se encuentran desarrolladas para políticas de administración de inventario independientes.

2. POLITICAS DE GESTION DE INVENTARIO MULTI-ESLABON

Clark & Scarf, 1960, fueron los primeros en introducir el concepto de inventario de eslabón, según el cual, las decisiones de ordenar de cada eslabón en una cadena de suministros están basadas en su posición de inventario, definida como el número de unidades en el sistema que están o han pasado por el eslabón y aún no han sido comprometidas con el cliente. Es decir, que en la posición de inventario para cada eslabón de la cadena de suministros se tendrá reflejado el inventario con que esta cuenta, más el inventario que está en los eslabones siguientes que aún no ha sido comprometido con los clientes externos de la cadena.

A partir del concepto de inventario de eslabón, La administración de Inventario multi-eslabón ha sido estudiada por una gran variedad de autores a través de la historia, modelando y analizando sistemas de inventario con diferentes parámetros de operación y supuestos de modelación (gumus and guneri 2007). Se encuentran en la literatura una gran cantidad de modelos matemáticos y otras técnicas como los realizados por Ganeshan (1999), Axsater (2003), Forsberg (1996), Mohebbi and Posner (1998), Korugan and Gupta (1998), Andersson and Marklund (2000), Cachon and Fisher (2000), Axsater (2000), Axsater (2001), y Mitra and Chatterjee (2004). La gran parte de estos modelos asumen que la demanda es estocástica, y lo que buscan es mediante la modelación matemática establecer una ecuación en términos de los costos del sistema, que permita establecer el tamaño de lote óptimo a pedir (Q) y el punto de reorden (R) en cada uno de los eslabones que conforman la cadena de suministros.

De Bodt and Graves (1985) fueron los primeros en realizar un modelo matemático de administración de inventario multi-eslabon con una política de revisión continua (R;Q) en todas las etapas. Su modelo consiste en dos eslabones, en el cual, el eslabón 1 estaba constituido por un distribuidor, y el eslabón 2 por un centro de distribución. Mitra and Chatterjee (2004) analizan este modelo y sugieren una modificación con la cual se puede obtener mejores resultados, y plantean la posibilidad de realizar un modelo de administración de inventario multi-eslabon genérica para N eslabones. Gumus and Guneri (2007) realizan una extensa revisión literaria en la que concluyen que no se ha desarrollado un modelo genérico de administración de inventario multi-eslabon, por tanto se ha visto afectada la adopción de estos sistemas de manejo de inventario. Adicionalmente, se presenta en la literatura una carencia de métricas desagregadas simples que permitan determinar el impacto que este tipo de políticas de administración de inventario tiene en aspectos relevantes de la cadena de suministros tales como: inventario promedio y nivel de servicio.

Seguidamente se presenta los supuestos de la política de administración de inventario, los cuales se fundamentan en el modelo desarrollado por De Bodt & Graves (1985) y las modificaciones realizadas por Mitra & Chatterjee (2004), a partir del cual se realizó el planteamiento de métricas desagregadas para el nivel de inventario promedio y nivel de servicio de ciclo que sean acordes al comportamiento del inventario en las políticas multi-eslabón.

2.1 MODELO INVENTARIO MULTI-ESLABON

La política de inventario multi-eslabón desarrollada por De Bodt & Graves (1985) y modificada por Mitra & Chatterjee (2004) está diseñada para gestionar una cadena de suministro que cuenta con dos eslabones. El eslabón 1 al cual hacen parte un distribuidor (D), es el encargado de abastecer la demanda externa, y a su vez este se abastece del centro de distribución CD. El eslabón 2 se encuentra conformado por el centro de distribución (CD), es abastecido por un proveedor externo que no hace parte del modelo debido a que se asume que cuenta con capacidad ilimitada. Los supuestos del modelo y la notación utilizada se presentan a continuación.

Supuestos del modelo:

- La demanda externa ocurre en el eslabón 1 y sigue una distribución normal
- Lead time determinísticos
- El eslabón 2 es abastecido por un proveedor externo con capacidad ilimitada

Notación utilizada:

D: Demanda esperada por periodo

σ : Desviación de la demanda esperada por periodo

Q_i: Unidades perdidas en el eslabón i

R_i: Punto de reorden en el eslabón i

A_i: Costo fijo asociado con una reposición en el eslabón i

h_i: Costo de mantener por unidad por periodo en el eslabón i

P: Costo de retraso por unidad en el eslabón 1

L_i: Lead time para reemplazar en el eslabón i

La política de inventario del distribuidor se comporta con un esquema de revisión continua basada en mínimos y máximos (s,S). La política (s,S) evalúa la posición de inventario del sistema, si esta se encuentra por debajo de su punto de reorden, automáticamente el distribuidor realiza un pedido de tamaño Q₁ al centro de distribución. En otras palabras el funcionamiento del distribuidor es el esquema clásico de inventarios independientes.

Por otra parte el funcionamiento del control de inventario del CD perteneciente al eslabón 2 cambia para pasar de un esquema independiente a un enfoque coordinado de las operaciones. El cálculo de su posición de inventario se basa en el concepto de inventario de eslabón desarrollado por Clark and Scarf (1960). De esta forma el CD ya no controla solo su inventario, sino el de la cadena de suministro completa. Lo anterior significa que el CD va a pedir a su proveedor no cuando este necesita, sino cuando el sistema completo lo requiera. En la tabla 1 se presenta la formulación de los parámetros de las políticas de administración de inventario multi-eslabón para dos eslabones.

Tabla 1: Parámetros política de inventario multi-eslabón, dos eslabones.

| CRITERIO | POLÍTICA MULTI-ESLABON |
|--|--|
| Cantidad a ordenar por el distribuidor Q_1 | $Q_1 = \sqrt{\frac{2 \left[A_1 + \frac{A_2}{n} \right] D}{h_1 + n h_2}}$ |
| Cantidad a ordenar por el centro de distribución Q_2 | $Q_2 = n Q_1$ Donde $n = \max \left[\frac{A_2 h_1}{A_1 h_2}, 1 \right]$ |
| Factor de seguridad eslabón 1 | $1 - \Phi(k_1) = \frac{Q_1 (h_1 - h_2)}{PD}$ |
| Factor de seguridad eslabón 2 | $1 - \Phi(k_2) = \frac{Q_1 (h_1 + (n-1)h_2)}{PD}$ |
| ROP (D) | $R_1 = D_{11} + k_1 \sigma_{11}$ |
| ROP (CD) | $R_2 = D_{11+12} + k_2 \sigma_{11+12}$ |
| Pos. Inv. (D) | On-hand _D +In-transit _D |
| Pos. Inv. (CD) | Pos. Inv _D +On-Hand _{CD} + In-transit _{CD} |

Donde $\Phi(\cdot)$ se refiere a la función de distribución acumulada de la distribución normal estándar

3. RESULTADOS

En esta sección se presentan métricas desagregadas para el cálculo del inventario promedio y el nivel de servicio de ciclo para cada eslabón perteneciente a la cadena de suministros. Además se realiza un ejemplo numérico para ilustrar el cálculo de las mismas.

3.1 CALCULO DEL INVENTARIO PROMEDIO PARA POLITICAS MULTI-ESLABON

Seguidamente se plantea una medición desagregada y exacta del inventario promedio, asumiendo que se cuenta con un inventario de producto terminado, y considerando que la demanda tiene una distribución de probabilidad normal, se desarrollan métricas para el eslabón 1, eslabón 2 y toda la cadena de suministros.

3.1.1 METRICA INVENTARIO PROMEDIO PARA ESLABON 1

Como se ha mencionado anteriormente la administración de inventario en el distribuidor se realiza de manera similar a una política de inventario de revisión continua independiente, por tanto el cálculo de los días de inventario en el distribuidor se realiza con base a la siguiente ecuación:

$$I_{E1} = I_{TransitoE1} + I_{SeguridadE1} + I_{CicloE1} \quad (1)$$

Desagregando cada uno de los términos que conforman la ecuación anterior se obtiene

(2)

$$I_{E2} = \frac{Q_1}{2} + k_1 * \sigma_{D1} + D * L$$

3.1.2 METRICA INVENTARIO PROMEDIO CADENA DE SUMINISTROS OARA POLITICAS DE INVENTARIO MULTI-ESLABON

La métrica de inventario promedio de toda la cadena, se realizó con base a la posición de inventario del eslabón que se encuentre al final de la misma. En la siguiente figura se muestra los niveles de inventario del eslabón 2.

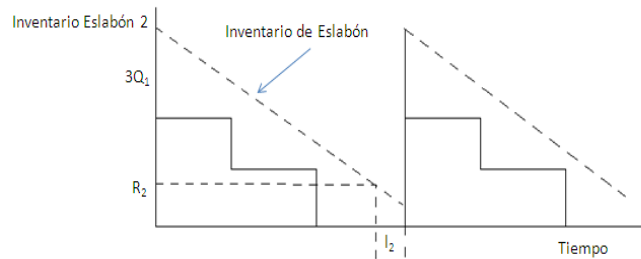


Figura 1. Nivel de inventario eslabón 2.

La posición de inventario del eslabón 2 representa el inventario disponible en toda la cadena de suministros. El eslabón 2 realiza un pedido de nQ_1 unidades cada vez que la posición de inventario cae hasta el punto de reorden (R_2). Por tanto, el inventario de ciclo de la cadena de suministros I_{ciclo} se define como:

(3)

$$I_{ciclo} = \frac{nQ_1}{2}$$

El inventario de seguridad y el inventario en tránsito para toda la cadena están dado por:

(4)

$$I_{seguridad} = k_2 * \sigma_{D1+D2}$$

(5)

$$I_{transitos} = D * (L_1 + L_2)$$

La suma de los tres inventarios da como resultado el inventario promedio en toda la cadena de suministros para una política multi-eslabon de revisión continua:

(6)

$$I_{cp} = \frac{nQ}{2} + k_2 * \sigma_{D1+D2} + D * (L_1 + L_2)$$

3.1.3 METRICA INVENTARIO PROMEDIO ESLABON 2

Para el caso del centro de distribución, el cual realiza la administración del inventario con base al concepto de inventario de eslabón, el inventario promedio se calculara de la siguiente manera:

(7)

$$I_{CD} = I_{CS} - I_{E1} - I_{seguridad}$$

Como se puede observar en la ecuación anterior, el inventario promedio en el CD se calcula restando al inventario promedio de la cadena de suministros el inventario promedio del distribuidor, además se debe restar el inventario de seguridad de la cadena de suministros, debido a que este no se refleja físicamente en las unidades de inventario del centro de distribución, pero si se refleja en la posición de inventario del mismo, la cual hace alusión a la necesidad global de la cadena de suministro, es decir, que el inventario de seguridad de la cadena se concentra en el eslabón 1, particularmente en los momentos de exposición al riesgo (reaprovisionamiento de la CS).

Reemplazando se tiene:

(8)

$$I_{CD} = \left(\frac{nQ}{2} + k_2 * \sigma_{E1+E2} + \bar{D} * (L_1 + L_2) \right) - \left(\frac{Q}{2} + k_1 * \sigma_{E1} + \bar{D} * L_1 \right) - (k_2 * \sigma_{E1+E2})$$

Por tanto la ecuación del inventario promedio para el eslabón 2 se puede expresar como:

(9)

$$I_{CD} = \frac{n-1Q}{2} + \bar{D} * L_2 - k_1 * \sigma_{E1}$$

Luego de definir las métricas desagregadas del inventario promedio para la cadena de suministros, a continuación se presentan las métricas para el cálculo de nivel de servicio de ciclo (CSL) para políticas multi-eslabón.

3.2 CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO DE CICLO (CSL) PARA POLITICAS DE ADMINISTRACION DE INVENTARIO MULTI-ESLABON

Cuando se plantea una política de administración de inventario, uno de los objetivos a evaluar es el nivel de servicio de ciclo (CSL), el cual según Chopra & Meindl, (2007), indica la probabilidad de que no ocurra desabasto en un ciclo de resurtido.

3.2.1 CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO DE CICLO ESLABON 1 (CSL 1)

La gestión de inventario en el eslabón 1 se realiza de forma similar a una gestión de inventarios independientes, Sin embargo, dado que en este caso se está estudiando una cadena de suministros de dos eslabones, se debe considerar para el eslabón 1 la influencia que tiene el eslabón 2 en su nivel de servicio. De acuerdo a lo anterior la ecuación para el CSL₁ debe considerar 2 segmentos expresados de la siguiente forma:

(10)

$$CSL_1 = \begin{cases} \text{Prob} \left(z \leq \frac{R_1 - D_{1n}}{\sigma_{E1}} \right), \text{ para } n = 1 \text{ ciclos} \\ \text{Prob} \left(z \leq \frac{R_1 - D_{(1+n)}}{\sigma_{E1+E2}} \right), \text{ para } n = \text{ésimo} \end{cases}$$

Con base a la ecuación anterior, se puede determinar la probabilidad de que no exista desabasto en n ciclos consecutivos (PND_n) en el distribuidor como:

$$PND_n = \text{Prob} \left(z \leq \frac{R_1 - D_{11}}{\sigma_{D_1}} \right)^{n-1} * \text{Prob} \left(z \leq \frac{R_1 - D_{11+2n}}{\sigma_{D_1+2n}} \right) \quad (11)$$

3.2.2 CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO DE CICLO ESLABON 2 (CSL 2)

Se debe tener en cuenta que el eslabón 2 realiza un pedido cuando su posición de inventario cae hasta el punto de reorden (R_2). Como se presenta en el siguiente gráfico.

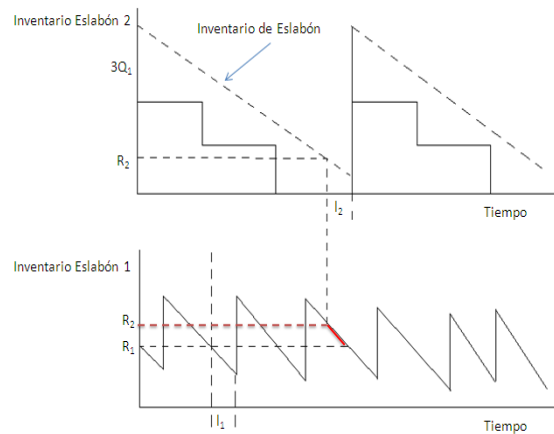


Figura 2: Nivel de inventario eslabones 1 y 2 política multi-eslabón.

En la figura anterior se puede que en el eslabón 2 se pueden presentar faltantes solamente cada n ciclos. De acuerdo a esto todo el inventario disponible de la cadena de suministros en el n -ésimo se encontrará registrado en la posición de inventario del eslabón 1. Por tanto, se presentan faltantes, si el eslabón 1 realiza un pedido de resurtido al eslabón 2 durante el tiempo de espera (L_2). Es decir, el desabasto ocurre en un ciclo si la demanda durante el tiempo de espera (L_2) es mayor que la diferencia entre los puntos de reorden de los dos eslabones ($R_2 - R_1$), tal como lo muestra el nivel inventario del eslabón 1 en el gráfico anterior. El nivel de servicio en el n -ésimo ciclo en el eslabón 2 está dado por:

$$CSL_n = \text{Prob} (\text{demanda durante el tiempo de espera de } L \text{ semanas} \leq (R_2 - R_1)) \quad (12)$$

$$CSL_n = \text{Prob} \left(z \leq \frac{R_2 - R_1 - D_{1n}}{\sigma_{D_1}} \right)$$

3.3 EJEMPLO NUMERICO

Con el fin de ilustrar el uso de las métricas desagregadas propuestas en la presente investigación, a continuación se presenta un ejemplo numérico.

Tabla 2. Datos ejemplo numérico

| DATOS EJEMPLO NUMERICO | | |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| D = 36500/año | A ₂ = 33 | h ₂ = 0.85 |
| σ = 10/día | L ₁ = 2 Dias | h ₁ = 0.35 |
| A ₁ = 7 | L ₂ = 5 Dias | P = 2 |

En la siguiente tabla se resumen el cálculo de los parámetros para la política multi-eslabón, según las ecuaciones presentadas en la tabla I.

Tabla 3: Parámetros ejemplo numérico.

| POLÍTICA MULTI-ESLABÓN | |
|---|--|
| $Q_1 = \sqrt{\frac{2[7 - \frac{33}{2}]36500}{0.35 + 0.85}} = 921$ | $Q_2 = 3 * 841 = 1082$ <p>Donde</p> $n = \max \left[\frac{33 + 0.5}{7 * 0.35}, 1 \right] = 3$ |
| $1 - \Phi(k_1) = \frac{921(0.85 - 0.35)}{2 * 36500}$ $k_1 = 2.3$ | $1 - \Phi(k_2) = \frac{921(0.85 + (3 - 1)35)}{2 * 36500}$ $k_2 = 2.11$ |
| $R_1 = 2 * 100 + 2.3 * 10\sqrt{2} = 238$ | $R_2 = 6 * 100 + 2.11 * 10\sqrt{8} = 758$ |

El inventario promedio para toda cadena de suministros está dado por:

$$I_{cs} = \frac{3 * 921}{2} + 2.11 * 27.18 + 100 * (3 + 2) = 2145.84$$

El inventario promedio para el distribuidor está dado por:

$$I_D = \frac{921}{2} + 2.3 * 14.50 + 200 = 697.92$$

El inventario promedio para el centro de distribución está dado por:

$$I_{CD} = \frac{(3 - 1)921}{2} + 500 - 36.27 = 1447.83$$

El nivel de servicio en el n-ésimo ciclo para el CD está dado por:

$$CSL_n = \text{Prob} \left(E \leq \frac{(758 - 100) - 500}{27.18} \right) = 0.7883$$

El CSL_n significa, que cada 3 ciclos se puede generar un incumplido en el eslabón con una probabilidad del 0,7885.

Finalmente, el nivel de servicio de ciclo para el distribuidor está dado por:

$$CSL_1 = \frac{3-1}{3} \left[\text{prob} \left(x \leq \frac{238-200}{14,14} \right) \right] + \frac{1}{3} \left[\text{prob} \left(x \leq \frac{758-700}{26,45} \right) \right]$$

$$CSL_1 = 0,9906$$

Lo cual significa que en el 99.06% de los ciclos de resurtido, el eslabón 1 satisface toda la demanda con el inventario disponible. Y en el 0.94% se presenta desabasto y parte de la demanda no se satisface debido a la falta de inventario.

4. CONCLUSIONES

En la presente investigación se realizó un estudio de las políticas de administración de inventario multi-eslabón basada en un sistema de revisión continua, para una cadena de suministros. se pudo determinar que existía una carencia de métricas desagregadas para determinar los niveles de inventario promedio y nivel de servicio de ciclo para cada uno de los miembros que conforman la cadena de suministros, por lo cual, mediante modelación matemática se determinó un conjunto de ecuaciones para el cálculo del inventario promedio y del nivel de servicio de ciclo en el eslabón 1, eslabón 2 y la cadena de suministros. Con estas métricas se podrá medir de manera simple el impacto que se presenta en una cadena de suministros cuando la gestión de inventario se realiza mediante una política multi-eslabón.

En el cálculo del nivel de servicio para el eslabón 2, se evidenció que este se ve impactado fuertemente por el número de pedidos que realiza el eslabón 1 para que se complete un ciclo de reaprovisionamiento en la CS (n), es decir, cuando se tiene un n de un tamaño significativo, la ocurrencia de incumplidos es bastante baja, ya que solamente pueden ocurrir en 1 de cada n ciclos, mientras que cuando se tienen un n significativamente pequeño la ocurrencia de incumplidos en el eslabón 2 puede ocurrir frecuentemente, pero esto no necesariamente afecta el nivel de servicio de la cadena de suministros. Por su parte en el eslabón 1, se obtuvo que para n-1 se tiene una formulación similar a la establecida en las políticas de administración de inventario independientes, es decir, se considera para su formulación el tiempo de reaprovisionamiento l_1 ; mientras que en el e-nésimo siglo se debe considerar el tiempo total de reaprovisionamiento total de la cadena de suministros, es decir, la suma l_1 y l_2 .

Finalmente, en el cálculo de los inventarios promedios de la cadena de suministros, se obtuvo que en el eslabón 1 la formulación es similar a la presentada en las políticas de inventario independientes, dado que la formulación del punto de re-orden (R_1) es igual a la de este tipo de políticas. En el caso de la cadena de suministros se obtuvo una métrica global, la cual permite establecer el inventario promedio que se presenta en la CS. Por su parte, en el eslabón 2, la métrica se realizó con la diferencia del inventario promedio de la cadena de suministros menos el inventario del eslabón 1, teniendo en cuenta a su vez que en este eslabón no se reflejan en unidades físicas en bodega del inventario de seguridad establecido para el punto de re-orden (R_2), el cual regula la generación de pedidos en este eslabón pero representa el inventario con que cuenta la CS.

5. REFERENCIAS

- Andersson, J. and Marklund, J. “Decentralized inventory control in a two-level distribution system”. Eur. J. Opl Res., 2000, 127, 483–506. [doi:10.1016/S0377-2217\(99\)00332-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00332-X)
- Axsater, S. “Exact analysis of continuous review (R,Q) policies in two-echelon inventory systems with compound Poisson demand”. Ops Res., 2000, 48(5), 686–696. [doi:10.1287/opre.48.5.686.12403](https://doi.org/10.1287/opre.48.5.686.12403)

- Axsater, S. "Scaling down multi-echelon inventory problems". *Int. J. Prod. Econ.*, 2001(b), 71, 255–261. [doi:10.1016/S0925-5273\(00\)00123-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00123-7)
- Axsater, S. "Approximate optimization of a two-level distribution inventory system". *Int. J. Prod. Econ.*, 2003, 81–82, 545–553.
- Cachon, G. P. and Fisher, M. "Supply chain inventory management and the value of shared information". *Mgmt Sci.*, 2000, 46(8), 1032–1048. [doi:10.1287/mnsc.46.8.1032.12029](https://doi.org/10.1287/mnsc.46.8.1032.12029)
- Clark, A. J., & Scarf, H. (1960). "Optimal policies for a multi-echelon inventory problem". *Management Science*, 6(4), 475-490. [doi:10.1287/mnsc.6.4.475](https://doi.org/10.1287/mnsc.6.4.475)
- De Bodt MA, Graves SC. "Continuous-review policies for a multi-echelon inventory problem with stochastic demand". *Management Science* 1985;31(10):1286–99.
- Forsberg, R. "Exact evaluation of (R, Q)-policies for two level inventory systems with Poisson demand". *Eur. J. Opl Res.*, 1996, 96, 130–138. [doi:10.1016/S0377-2217\(96\)00137-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00137-3)
- Ganeshan,R. "Managing supply chain inventories: a multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model". *Int. J. Prod. Econ.*, 1999, 59, 341–354.
- Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P., and Scozzi, B. "A fuzzy echelon approach for inventory management in supply chains". *Eur. J. Opl Res.*, 2003, 149, 185–196.
- Gumus and guneri. "Multi-echelon inventory management in supply chains with uncertain demand and lead times: literature review from an operational research perspective". *Proc. IMechE Vol. 221 Part B: J. Engineering Manufacture* 2007. [doi:10.1243/09544054JEM889](https://doi.org/10.1243/09544054JEM889)
5. Gumus, Guneri, and Ulegin. "A new methodology for multi-echelon inventory management in stochastic and neuro-fuzzy environments". *Int. J. Production Economics* 128 (2010) 248–260.
- Korugan, A. and Gupta, S. M. "A multi-echelon inventory system with returns". *Computers Ind. Engng*, 1998, 35(1–2), 145–148. [doi:10.1016/S0360-8352\(98\)00041-2](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(98)00041-2)
- Mitra, S., Chatterjee, A.K., (2004). "Echelon stock based continuous review (R,Q) policy for fast moving items". *Omega* 32 (2), 161–166. [doi:10.1016/j.omega.2003.10.003](https://doi.org/10.1016/j.omega.2003.10.003)
- Mitra, S. (2009). "Analysis of a two-echelon inventory system with returns". *Omega*, 37(1), 106-115.
- Mohebbi, E. and Posner, M. J. M. "Sole versus dual sourcing in a continuous-review inventory system with lost sales". *Computers Ind. Engng*, 1998, 34(2), 321–336.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). "Inventory management and production planning and scheduling".

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.