



DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIOS MULTI-ESCALÓN MULTI-PRODUCTOS PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR COMERCIO UBICADA EN EL ESTADO DE MÉXICO

DESIGN OF A MULTI-STAGE MULTI-PRODUCT INVENTORY POLICY FOR A
COMPANY IN THE COMMERCE SECTOR LOCATED IN THE STATE OF
MEXICO

Gael Almazán Munguía *¹, Lourdes Loza-Hernández², Manuel González de la Rosa³ y
Sergio Vázquez Aranda ⁴

ORCID: 0000-0001-5107-7110

¹⁻⁴Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec S/N,
Ciudad Universitaria, C.P. 50100.
Toluca, Estado de México.

¹ galmazanm468@alumno.uaemex.mx, ² llozahe@gmail.com, ³ mgonzalezr@uaemex.mx,
[4svazqueza821@profesor.uaemex.mx](mailto:svazqueza821@profesor.uaemex.mx)

RESUMEN

Este documento presenta las etapas de análisis y diseño de las políticas de inventario propuestas para una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México. Para hacer posible la comercialización de los múltiples productos en su catálogo, la empresa caso de estudio tiene diversas instalaciones, entre ellas, un Centro de Distribución, el cual es surtido por un conjunto de proveedores, y este a su vez, surte a más de cuarenta puntos de venta donde son vendidos todos los productos al cliente final. Actualmente la empresa tiene problemas de manejo de productos de alto movimiento, por lo que se originan bajos niveles de disponibilidad de producto que satisfarían la demanda y altos costos administrativos. Para dar solución a estos problemas se establece como objetivo el diseño de políticas de inventario y como etapa previa a este proceso, se realizó una revisión de literatura relacionada al diseño y manejo de políticas multi-escalón y multi-producto. En esta revisión de literatura se prioriza la búsqueda de artículos científicos con características propias de la empresa caso de estudio y de sus productos. Posteriormente se establecen los productos del catálogo de la empresa a los cuales se aplicará la nueva política de inventarios mediante una clasificación ABC según los criterios más importantes para los



tomadores de decisiones de la empresa. El trabajo actual en desarrollo consiste en el análisis de la demanda desde 2019 hasta mediados de febrero de 2021 del conjunto de productos seleccionados, así como revisión de políticas de inventario ya establecidas aptas para las características propias del caso de estudio.

Palabras clave: *Políticas de inventarios; multi-escalón; multi-productos; clasificación ABC; análisis de la demanda.*

ABSTRACT

This document presents analysis and design stages of an inventory policy proposal for a company in the commerce sector located in State of Mexico. To make possible the commercialization of the multiple products in its catalog, the case study company has several facilities, among them, a Distribution Center, which is supplied by a set of suppliers, and this, in turn, supplies more than Forty points of sale where all products are sold to the end customer. Currently, the company has problems in handling high-movement products, so low levels of product availability arise that would satisfy the demand and high administrative costs. To solve these problems, the design of inventory policies is established as an objective and as a stage prior to this process, a literature review related to the design and management of multi-echelon and multi-product policies was carried out. In this literature review, the search for scientific articles with characteristics of the case study company and its products is prioritized. Subsequently, the products of the company's catalog are established to which the new inventory policy will be applied through an ABC classification according to the most important criteria for the company's decision makers. The current work in development consists of the analysis of the demand from 2019 to mid-February 2021 of the set of selected products, as well as a review of established suitable inventory policies for the characteristics of the case of study.

Key words: Inventory policies; multi-echelon; multi-product; ABC classification; demand analysis.

Fecha de recepción: 13 julio 2021

Fecha de aceptación: 09 septiembre 2021

Fecha de publicación: 1 de mayo de 2022



INTRODUCCIÓN

Este documento presenta las etapas iniciales de un proceso de diseño de políticas de inventario para una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México. Para hacer posible la comercialización de los múltiples productos en su catálogo, la empresa tiene diversas instalaciones, entre ellas, un Centro de Distribución, el cual es surtido por un conjunto de proveedores, y este a su vez, surte a más de cuarenta puntos de venta donde son vendidos todos los productos al cliente final. Actualmente la empresa tiene problemas de manejo de productos de alto movimiento, por lo que se originan bajos niveles de fill rate (medida del porcentaje de la disponibilidad de producto que satisfará una demanda (Ramírez, 2019)) y altos costos administrativos.

El diseño de una cadena de suministro es un campo en crecimiento dentro del área gerencial y es examinada a fondo por medio de la investigación de operaciones, la cual tiene como propósito el diseñar estructuras organizacionales productivas bajo restricciones de tiempo, costo, producción y/o distribución con la premisa básica de minimizar costos o maximizar ganancias y beneficios (Petridis, 2015).

Uno de los eslabones que forman a la

cadena de suministro es el de inventarios, el cual da origen a este trabajo ya que además de tener una gran importancia dentro del funcionamiento de una empresa, también conlleva un gran dilema que debe saber manejarse y controlarse de acuerdo con las características mismas de la cadena de suministro, debido a que mantener un alto nivel de inventario incrementa los costos de la cadena pero se logra un nivel de servicio al cliente mayor (Ballou, 2004).

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La etapa previa al proceso de diseño de las políticas de inventario para el caso de estudio consistió en la revisión de literatura relacionada al diseño y manejo de políticas multi-escalón y multi-producto. La búsqueda de artículos científicos se realizó considerando las características propias de la empresa caso de estudio y de sus productos. Se estableció como prioridad el análisis de artículos relacionados a políticas de inventario de tres escalones y multi-producto, así como el manejo de artículos perecederos y no perecederos en el periodo de 1999 a 2020. El resultado del análisis anterior arrojó que, a pesar de compartir problemáticas similares, tienen objetivos distintos. Una parte de la literatura comparte el propósito de



optimizar el tamaño de lotes en pedidos de reabastecimiento por ejemplo (Nagaraj and Selladurai, 2002), (Jaruphongs, Çetinkaya and Lee, 2004), (Lu and Qi, 2011), (Varyani, Jalilvand-Nejad and Fattahi, 2014) y (Gharaei, Karimi and Hoseini Shekarabi, 2019). Algunos otros, tratan el cálculo del punto de reorden bajo políticas de inventario diferentes, algunos de ellos son (Van Der Heijden, Diks and De Kok, 1999), (Thangam and Uthayakumar, 2009) y (Sadeghi, 2015). Asimismo, ciertos artículos revisados, buscan el modelado de cadenas de suministro integradas o la reducción de costos finales para los casos de estudio abordados. Algunos de estos artículos son (Hajiaghahi-Keshteli and Sajadifar, 2010), (Alimardani, Jolai and Rafiei, 2013) y (Parjane, Dabade and Gulve, 2017). También se encontraron artículos relacionados al sector comercio con objetivos diferentes a los anteriores, por ejemplo (Liu *et al.*, 2020) busca seleccionar un conjunto de depósitos o almacenes para satisfacer la demanda de los minoristas de la cadena de suministro de tres niveles. Por otro lado, en (Zijm and Timmer, 2008) se busca eliminar ineficiencia de costos entre sistemas centralizados y descentralizados de inventarios.

De manera particular, fue posible encontrar artículos enfocados a temas

más estrechamente relacionados a empresas del sector comercio. Por ejemplo, (Hoseini Shekarabi, Gharaei and Karimi, 2019) analizan una cadena de suministro de tres niveles o escalones; el primer escalón es considerado como el proveedor, el segundo es un productor y, finalmente el tercero es un conjunto de mayoristas. En este caso de estudio se calcula el número óptimo de lotes de pedido y su correspondiente tamaño, de tal manera que se minimice el costo total de inventario. El problema contempla un conjunto de restricciones como lo es el espacio limitado en el almacén, la cantidad de órdenes que se pueden colocar y la cantidad de productos que cada nivel de la cadena puede ordenar, costos de adquisición, costos de manejo de inventario y el costo de almacenar para el escalón de productor.

Otro ejemplo, relacionado directamente con empresas del sector comercio fue (Petridis, 2015), el cual consiste en el diseño de una cadena de suministro multi-escalón con una demanda normalmente distribuida. En este artículo se propone un diseño de un modelo flexible de cadena de suministro para facilitar el manejo de la demanda estocástica a la que se está sujeta. Como resultado ante la restricción de un tiempo de entrega que incluye la cantidad de inventario que se mantiene en los centros de distribución, con las



decisiones sobre el exceso y la falta de inventario, así como el tiempo correspondiente para cada uno, se tiene el modelo de programación no lineal de enteros mixtos multiobjetivo y mediciones estadísticas como la probabilidad de desabastecimiento y exceso de existencias.

Un tercer artículo científico de relevancia para el caso de estudio que se analiza en este documento fue (Axsäter, Kleijn and De Kok, 2004), el cual tiene como objetivo la racionalización de stock, implementada en un modelo de inventarios de revisión continua de dos escalones, en donde se busca un equilibrio entre dos costos importantes: 1 – Costo de no satisfacer la demanda de clientes directos y 2 – Costo de no satisfacer los pedidos de reabastecimiento de un minorista, en donde el primero resulta ser más elevado. La revisión de literatura continuará a lo largo del desarrollo del proyecto y dependiendo de los requerimientos.

Después de realizar una revisión preliminar de literatura, se inició la búsqueda de información necesaria para el proceso de diseño de políticas de inventario según los problemas resueltos en los artículos revisados. Esto a través de un acercamiento a la empresa y familiarización con los procesos internos del Centro de Distribución.

METODOLOGÍA

La empresa caso de estudio distribuye a su red de minoristas más de 6 mil productos a través de su Centro de Distribución, con ayuda de un equipo logístico propio y de empresas de transporte externas. Estos productos se categorizan en 24 diferentes familias, las que internamente denominan líneas. Naturalmente cada línea tiene productos con mayor flujo que otros y únicamente la experiencia e intuición del personal a cargo de este Centro de Distribución definen cuáles son. Por lo anterior, resulta conveniente identificar y justificar cuantitativamente la clasificación del conjunto de productos que son de mayor interés para la gerencia de la empresa y que, en consecuencia, sean para los cuales se diseñen las políticas de inventario adecuadas. Para ello, se recurre a un método denominado clasificación ABC.

La clasificación ABC se utiliza para identificar los productos más importantes para las empresas y así, tomar decisiones para establecer prioridades de atención en cuanto a su manejo y administración a lo largo de diferentes procesos. En este tipo de clasificación usualmente se generan tres clases o categorías de productos: A, B y C. Los productos de la clase A son



aquellos que deben recibir una atención más detallada por la administración, los productos de la clase B son de importancia secundaria con relación a la clase A y los productos de clase C son los productos restantes que generalmente se identifican como de menor importancia o que generan un menor impacto (Edward A. Silver, David F. Pyke, 2016). Para hacer posible la clasificación ABC fue necesario saber a detalle cuales son los criterios que un producto debe cumplir para categorizarlo como muy importante (bajo los criterios del personal de la empresa) de clase A. Los tomadores de decisiones de la empresa consideran tres criterios para mejorar sus procesos internos de inventario: i. productos con mayor cantidad de cajas solicitadas por las tiendas minoristas; ii. productos con mayor cantidad de cajas enviadas a las tiendas minoristas; iii. productos que mayor monto monetario representan. Además, fue requerida la priorización de dos líneas específicas en donde actualmente se tiene un mayor conflicto en niveles de inventario, las cuales serán referidas como líneas 1 y 2.

Una vez que los tres criterios de categorización de productos fueron definidos, se inició la recopilación de datos históricos de la empresa considerando dichos criterios. Se

obtuvieron informes de los años 2019 y 2020 así como una fracción de 2021. Los informes esencialmente consisten en registros individuales de productos solicitados por cada una de las tiendas minoristas al Centro de Distribución. Estos informes, además de registrar las cajas solicitadas de cada uno de los productos, también detallan cuántas de ellas fueron surtidas exitosamente, el monto que representaban al momento de la transferencia, la fecha en que se enviaron, cuál fue su tienda destino, la línea a la que pertenecen, folios internos de pedido, el proveedor de origen, entre otros. En total fueron obtenidos más de seis millones de registros de 120 reportes aproximadamente.

Para tratar esta información, se empleó el software de hojas de cálculo Excel de la paquetería Microsoft Office 365 mediante tablas y gráficos dinámicos. Como primer paso, se cubrió el requerimiento de la gerencia analizar únicamente de los productos de las líneas 1 y 2 para el diseño de políticas de inventarios de los más importantes, por lo que, eliminando los registros de las líneas restantes el número de registros analizados fueron 1,062,640 de 1,486 productos. Se analizó el número de cajas solicitadas y cajas surtidas y su monto total al Centro de Distribución desde la primera semana



de enero de 2019 hasta la primera semana de marzo de 2021. Las figuras 1, 2 y 3 ilustran el comportamiento de cada uno de los criterios por producto. En el eje vertical identifica los productos individuales y el eje horizontal su cantidad de cajas solicitadas, cajas surtidas y monto total respectivamente, para cada producto, esto es por ejemplo, para el producto que se encuentra en la base de la gráfica de la figura 1, el Centro de Distribución surte un total de cajas 300,289 cajas.

Es típico encontrar en diferentes sistemas de inventarios multi-SKUs (stock-keeping units, artículos de stock que están completamente especificado en cuanto a su función, estilo, tamaño, color y, a menudo, ubicación. (Edward A. Silver, David F. Pyke, 2016)) que alrededor del orden del 20% del total de SKUs hacen alrededor del 80% del uso anual en dólares. Esta relación se aplica en este caso de estudio, ya que con ayuda de las figuras es posible notar que pequeñas cantidades de productos por figura, representan la mayor parte del movimiento de cajas surtidas solicitadas y que representan mayor monto monetario.

De la lista de los 1,486 productos de las líneas 1 y 2 se realizó un ranking

individual de mayor a menor por cajas surtidas con su porcentaje acumulado para determinar cuántos y cuáles productos representan aproximadamente 80% de las cajas surtidas a las tiendas minoristas de la empresa; se obtuvo que 14,389,178 cajas de 287 productos representaron el 80.05% del total surtido. El mismo proceso se realizó para la cantidad de cajas solicitadas por los minoristas y para el monto total de las cajas enviadas, el resultado para el primero consistió en que 296 productos, de los cuales 20,267,642 cajas fueron solicitadas, representan el 79.98% del total. En cuanto al ranking de monto, se supo que un total de 287 productos suman \$5,414,223,750.40 que representaron el 79.91% del total de las líneas 1 y 2. A continuación, se elaboró un listado más específico que incluyera los productos que estuvieran en los tres rankings anteriores fueron asignados a la clase A, conformado únicamente de 385 productos (25.91% del total de los pertenecientes a las líneas 1 y 2). De manera ilustrativa, la tabla 1 contiene la información por criterio de únicamente 10 de los 385 productos de la clase A, para los cuales se diseñarán las nuevas políticas de inventario.

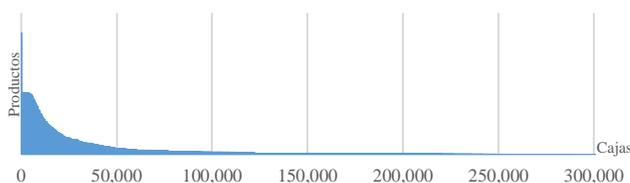


Figura 1. Cantidad de cajas surtidas por producto desde el Centro de Distribución.

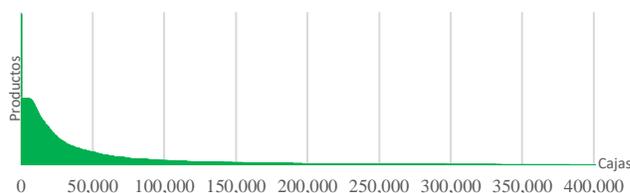


Figura 2. Cantidad de cajas solicitadas por producto al Centro de Distribución.

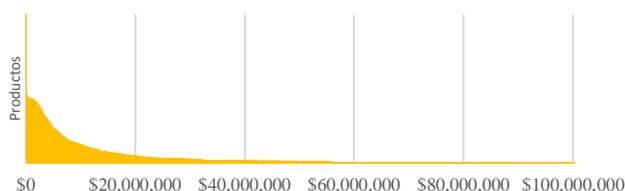


Figura 3. Monto total de las cajas enviadas por producto desde el Centro de Distribución a los minoristas.

Tabla 1. Cantidad de cajas solicitadas, surtidas y monto que representaron por producto de clase A de enero 2019 a marzo 2021.

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
Producto 1	798,848	1,120,534	\$89,972,726.33
Producto 2	441,045	493,778	\$40,612,331.44
Producto 3	216,115	382,683	\$7,549,807.25
Producto 4	326,095	335,587	\$36,131,640.92
Producto 5	288,382	331,613	\$251,370,887.86
Producto 6	249,324	297,324	\$58,097,813.20
Producto 7	241,923	288,351	\$83,554,659.89
Producto 8	157,070	283,903	\$58,165,062.59
Producto 9	220,569	271,930	\$103,414,072.69
Producto 10	236,165	260,114	\$68,326,776.72

Fuente: Elaboración propia. Productos ordenados por Cajas solicitadas.



TRABAJO EN DESARROLLO

Una vez definidos los productos más importantes para la empresa, es posible decir que se trata de productos de rápido movimiento desde el Centro de Distribución hacia la red de minoristas, por lo que se da pie a la búsqueda de políticas de inventario ya establecidas para artículos con estas características. Y para lo anterior, se debe tener con certeza conocimiento del comportamiento de las

demandas individuales del conjunto de productos proveniente de la clasificación ABC. Por lo tanto, se inicia la recopilación de datos para el análisis del comportamiento de la demanda desde los minoristas al Centro de Distribución por producto. En la figura 4 se ilustra lo propio del producto que encabeza la clase A.

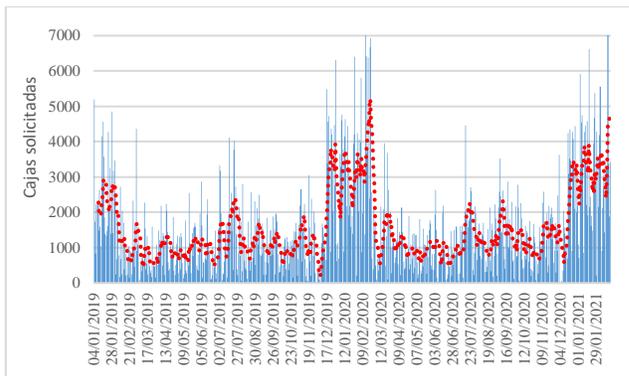


Figura 4. Cajas solicitadas del producto 1 al Centro de Distribución.

Como parte de un análisis preliminar de este producto, se puede notar que, a lo largo de los más de dos años graficados, se tienen periodos en los que la cantidad de cajas solicitadas varía en gran medida que incluso inmediatos posteriores y anteriores. También es posible notar que hay

partes específicas del año en que la demanda es notablemente superior al resto. El más notorio es el comprendido entre los meses de diciembre y febrero, lo cual, puede conducir a la existencia de estacionalidad.

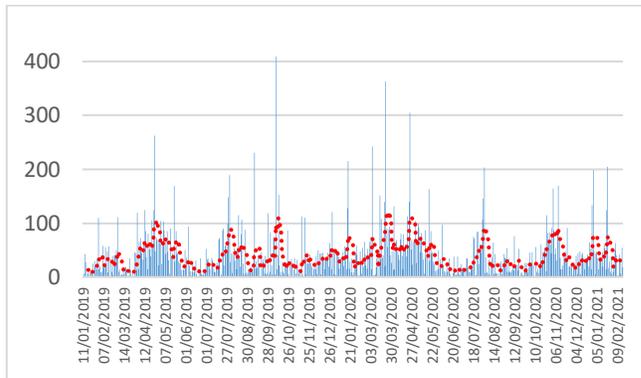


Figura 5. Cajas solicitadas del producto 385 al Centro de Distribución.

En la figura 5 se muestra la cantidad de cajas solicitadas por día del producto 385 a través del tiempo. Es posible notar que, aunque la cantidad de cajas solicitadas es notablemente menor en comparación con las del producto 1, también se presenta la peculiaridad de que en ciertos días se solicitan cantidades en gran magnitud diferentes a los días anteriores o posteriores. Esto puede representar un problema debido a que no se presentan tampoco estacionalidades o algún comportamiento establecido y que posteriormente puede complicar el cálculo de pronósticos de demanda para las políticas de inventario a diseñar.

CONCLUSIONES

Este documento refleja, de forma general, el trabajo en las primeras etapas del proceso de diseño de políticas de inventario para una empresa del sector comercio. La primera de ellas es considerada preliminar, ya que, durante el

proceso de familiarización con la empresa, se llevó a cabo una revisión de literatura que muestre problemas semejantes a los del caso de estudio y la forma de resolverlos.

Inicialmente se encontraron más de 20 artículos con estas características en diferentes plataformas y bases de datos. De esta primera selección, se distinguieron 3. El primero de ellos analiza una cadena de suministro de tres niveles o escalones sujeta a un conjunto de restricciones; el primer escalón es considerado como el proveedor, el segundo es un productor y, finalmente el tercero es un conjunto de mayoristas. El segundo artículo consiste en el diseño de una cadena de suministro multi-escalón con una demanda normalmente distribuida. El tercer artículo tiene como objetivo la racionalización de stock, implementada en un modelo de inventarios de revisión continua de dos escalones, en donde se busca un



equilibrio entre dos costos importantes: 1 – Costo de no satisfacer la demanda de clientes directos y 2 – Costo de no satisfacer los pedidos de reabastecimiento de un minorista.

Esta actividad, a pesar de ser la primera en realizarse, se complementará con búsqueda de artículos científicos de acuerdo con las necesidades y problemas que se presenten en el desarrollo del trabajo.

Después de la primera revisión de literatura se desarrolló una clasificación ABC para justificar cuantitativamente los productos más importantes del catálogo de la empresa, tomando en cuenta los criterios de sus tomadores de decisiones. Es importante resaltar que esta clasificación es fundamental para el desarrollo de este trabajo, y además fue implementada por el personal de la empresa dada la utilidad que mostró para el manejo de sus operaciones. La clasificación ABC desarrollada fue aplicada en los procesos operativos del Centro de Distribución, priorizando los procesos de compra, recepción, almacenaje y surtido de los artículos pertenecientes a la clase A.

Posterior a la clasificación ABC, se realizarán los pronósticos de demanda de

cada producto clase A que serán los datos de entrada de las políticas de inventario propuestas para el caso de estudio. Tomando como base las referencias (Petridis, 2015), (Hoseini Shekarabi, Gharaei and Karimi, 2019) y (Axsäter, Kleijn and De Kok, 2004), los datos relacionados a costos de almacenamiento, costo de colocar pedidos y costos fijos de inventario necesarios para la aplicación de la política de inventario adecuada ya fueron calculados. Los resultados de las políticas de inventario serán comparados con el desempeño actual del inventario de la empresa mediante el único indicador que la empresa emplea: fill rate, mostrando los beneficios del uso de métodos cuantitativos a problemas reales, siendo esta la etapa final del trabajo terminal de grado.

REFERENCIAS

- Alimardani, M., Jolai, F. and Rafiei, H. (2013). 'Bi-product inventory planning in a three-echelon supply chain with backordering, Poisson demand, and limited warehouse space', *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1). doi: 10.1186/2251-712X-9-22.
- Axsäter, S., Kleijn, M. and De Kok, T. G. (2004) 'Stock rationing in a continuous review two-echelon inventory model', *Annals of Operations Research*, 126(1–4),



- pp. 177–194. doi: 10.1023/B:ANOR.0000012280.68155.a3.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro*. Quinta Edi. Edited by E. Quintanar Duarte. Pearson Educación.
- Edward A. Silver, David F. Pyke, D. J. T. (2016). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. 4th ed. CRC Press. doi: 10.1201/9781315374406.
- Gharaei, A., Karimi, M. and Hoseini Shekarabi, S. A. (2019). 'An integrated multi-product, multi-buyer supply chain under penalty, green, and quality control polices and a vendor managed inventory with consignment stock agreement: The outer approximation with equality relaxation and augmented penalty algorithm', *Applied Mathematical Modelling*, 69, pp. 223–254. doi: 10.1016/j.apm.2018.11.035.
- Hajiaghaei-Keshteli, M. and Sajadifar, S. M. (2010). 'Deriving the cost function for a class of three-echelon inventory system with N-retailers and one-for-one ordering policy', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(1–4), pp. 343–351. doi: 10.1007/s00170-009-2486-9.
- Van Der Heijden, M., Diks, E. and De Kok, T. (1999). 'Inventory control in multi-echelon divergent systems with random lead times', *OR Spektrum*, 21(3), pp. 331–359. doi: 10.1007/s002910050093.
- Hoseini Shekarabi, S. A., Gharaei, A. and Karimi, M. (2019). 'Modelling and optimal lot-sizing of integrated multi-level multi-wholesaler supply chains under the shortage and limited warehouse space: generalised outer approximation', *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*, 6(3), pp. 237–257. doi: 10.1080/23302674.2018.1435835.
- Jaruphongsas, W., Çetinkaya, S. and Lee, C. Y. (2004). 'A two-echelon inventory optimization model with demand time window considerations', *Journal of Global Optimization*, 30(4), pp. 347–366. doi: 10.1007/s10898-004-6092-y.
- Liu, Y. et al. (2020). 'A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory–optimization model approach', *Computers and Industrial Engineering*, 142(January), p. 106326. doi: 10.1016/j.cie.2020.106326.
- Lu, L. and Qi, X. (2011). 'Dynamic lot sizing for multiple products with a new joint replenishment model', *European Journal of Operational Research*, 212(1), pp. 74–80. doi: 10.1016/j.ejor.2011.01.031.
- Nagaraj, P. and Selladurai, V. (2002). 'Analysis of optimum batch size in multistage, multifacility and multiproduct manufacturing systems', *International Journal of Advanced Manufacturing*



- Technology, 19(2), pp. 117–124. doi: 10.1007/s001700200004.
- Parjane, M. B., Dabade, B. M. and Gulve, M. B. (2017). 'Two Echelon Supply Chain Integrated Inventory Model for Similar Products: A Case Study', *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 98(3), pp. 353–358. doi: 10.1007/s40032-016-0221-5.
- Petridis, K. (2015). 'Optimal design of multi-echelon supply chain networks under normally distributed demand', *Annals of Operations Research*, 227(1), pp. 63–91. doi: 10.1007/s10479-013-1420-6.
- Ramírez, A. C. (2019). 'Indicadores de gestión logística', *Logística comercial internacional*, pp. 316–330. doi: 10.2307/j.ctvdf0jt2.9.
- Sadeghi, J. (2015). 'A multi-item integrated inventory model with different replenishment frequencies of retailers in a two-echelon supply chain management: a tuned-parameters hybrid meta-heuristic', *Opsearch*, 52(4), pp. 631–649. doi: 10.1007/s12597-015-0198-5.
- Thangam, A. and Uthayakumar, R. (2009). 'A two-level distribution inventory system with stochastic lead time at the lower echelon', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(11–12), pp. 1208–1220. doi: 10.1007/s00170-008-1567-5.
- Varyani, A., Jalilvand-Nejad, A. and Fattahi, P. (2014). 'Determining the optimum production quantity in three-echelon production system with stochastic demand', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(1–4), pp. 119–133. doi: 10.1007/s00170-014-5621-1.
- Zijm, H. and Timmer, J. (2008). 'Coordination mechanisms for inventory control in three-echelon serial and distribution systems', *Annals of Operations Research*, 158(1), pp. 161–182. doi: 10.1007/s10479-007-0239-4.