

POLÍTICAS DE INVENTARIOS MULTI-ESCALÓN Y MULTI-PRODUCTO: REVISIÓN DE LITERATURA

Gael Almazán Munguía¹; Lourdes Loza-Hernández^{2*}

¹⁻²Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de México, Ciudad Universitaria s/n,
50100, Toluca, Estado de México, México.

galmazanm468@alumno.uaemex.mx, <https://orcid.org/0000-0002-7708-6987>, llozah@uaemex.mx

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo mostrar una revisión de literatura sobre problemas relacionados al manejo de políticas de inventario de modalidad multi-escalón y multi-productos para empresas del sector comercio. Los artículos científicos analizados fueron seleccionados considerando características relacionadas al manejo de inventarios de empresas del sector comercio, preferentemente con políticas de inventarios de tres escalones integrados por minoristas (retailers) como el primero de ellos, un centro de distribución como el segundo escalón y proveedores como el tercer escalón (de derecha a izquierda), manteniendo flujo de artículos tanto perecederos y no perecederos. La literatura encontrada se clasifica por la naturaleza de los problemas que trata, los objetivos que persiguen y métodos de solución que se emplean en cada uno de ellos. Los artículos identificados con políticas de inventarios multi-escalón abordan temas relacionados con restricciones de espacio en almacén y el cálculo de tamaño óptimo de pedido, el diseño óptimo de una cadena de suministro multi-escalón con demanda normalmente distribuida, el desarrollo de un sistema de inventarios de dos escalones para productos perecederos en un caso de estudio y la racionalización de stock en un modelo de inventario de revisión continua de dos escalones, entre otros temas. Las bases de datos consultadas fueron las herramientas de Recursos Electrónicos de Información que la Universidad Autónoma del Estado de México ofrece tales como Springer Link, ScienceDirect y Taylor & Francis database.

Palabras clave: *inventario, multi-escalón; inventarios; multi-productos; cantidad óptima de pedido*

ABSTRACT

The objective of this work is to present a literature review on problems related to the management of inventory policies in a multi-echelon and multi-product modality for companies in the commerce sector. The analyzed scientific articles were selected considering characteristics related to the inventory management to the commerce sector, preferably with three-echelon inventory policies built by retailers as the first one echelon, a distribution center as the second

echelon, and suppliers such as the third echelon (from right to left), maintaining the flow of both perishable and non-perishable items. The scientific articles found in the literature were classified by the nature of the problems it deals with, their objectives, and their solution methods used in each one of them. The papers identified with multi-tier inventory policies address issues related to warehouse space restrictions and the calculation of optimal order size, the optimal design of a multi-echelon supply chain with normally distributed demand, dynamic and stable demand, the development of a system of two-echelon inventories for perishable goods in a case study and stock rationalization in a two-echelon for continuous review inventory model, among other topics. The databases consulted were the Electronic Information Resources tools that the Autonomous University of the State of Mexico offers such as SpringerLink, ScienceDirect, and Taylor & Francis database.

Keywords: *Inventory, Multi-echelon inventory, Multi-product echelon, Economic order quantity*

Aceptado: 13 de noviembre del 2021

Publicado: 07 de diciembre del 2021

1 INTRODUCCIÓN

Los cambios rápidos que se dan en el mundo del comercio y a través de todos los tipos de industrias han obligado a las empresas, desde las pequeñas y medianas, hasta las grandes transnacionales a replantear su modelo de negocios y las implicaciones que esto contiene. Los autores [1] citan en su trabajo a Soni y Kodali, “La red global de suministro está expuesta a una variedad de riesgos, incluyendo interrupciones en el suministro, retrasos en abastecimiento, fluctuaciones en la demanda, precio y fluctuación en tasa de cambio”.

Las compañías y organizaciones, independiente de su tamaño, deben ser muy cautelosas en las decisiones estratégicas y de planeación que se toman en cada uno de sus niveles [2]. Uno de los mayores desafíos de las industrias es la integración y trabajo colaborativo de todos los niveles de la estructura organizacional y operativa, que conlleven al incremento del nivel de servicio con sus respectivos clientes y un incremento en el superávit de las cadenas de suministro. Lo anterior solamente puede lograrse mediante la planeación de actividades en todos los niveles, coordinación entre departamentos y supervisión en la ejecución de

estrategias que lleven a las empresas a elevar su estatus y competitividad frente a otras.

Es evidente que un elemento crucial para el correcto funcionamiento de las cadenas de suministro se remonta a la planeación de ellas. 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 [3], 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. [3]

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 [4], situaciones que deben balancearse e a través de la política de inventario seleccionada.

Las variables de decisión clave en inventarios son *qué artículos mantener en inventario* (materia prima y productos en proceso y terminados), *cuánto y cuándo ordenar* (políticas de inventario) y *dónde mantener el inventario* (ubicaciones) [2]. La premisa, como en todas las compañías existentes, es brindar al cliente un nivel de satisfacción adecuado en las compras que realizan con la visión de siempre expandir sus alcances y, en la medida de lo posible, reducir sus limitaciones.

Uno de los generadores más grandes de costos dentro de la cadena de suministro, es el eslabón de inventarios debido a la cantidad de movimientos generados internamente, los cuales también tienen categorías, dos de ellas son el multi-escalón (ver Figura 1) y multi-productos; la primera se entiende como aquella en la que sus instalaciones están conectadas entre sí. “Las instalaciones pueden representar, por ejemplo,

existencias de materias primas, componentes, trabajo en proceso y productos finales en un sistema de producción, o un almacén central y una serie de minoristas en un sistema de distribución” [5]. La categoría de multi- productos, se refiere a los sistemas de inventarios que manejan más de un tipo de producto en sus procesos.

Por lo anterior el objetivo de este trabajo es mostrar una revisión de literatura sobre problemas relacionados al manejo de políticas de inventario de modalidad multi- escalón y multi-productos para empresas del sector comercio, para ello en la sección dos se trata la metodología que se utilizó para guiar la elaboración de este trabajo, en la cual se especifican las características buscadas en la literatura de inventarios, la encontrada y su clasificación. En la sección tres se detallan los artículos que tratan problemas o desarrollan modelos con características de manejo de inventarios multi-escalón y estructura de la cadena de suministro multi-productos. En la sección 3.1 se detalla la literatura encontrada con características más parecidas a las de las empresas del sector comercio y su correspondiente justificación. Por último, en la sección cuatro se tratan las conclusiones a las que se llegó con la revisión de literatura encontrada.

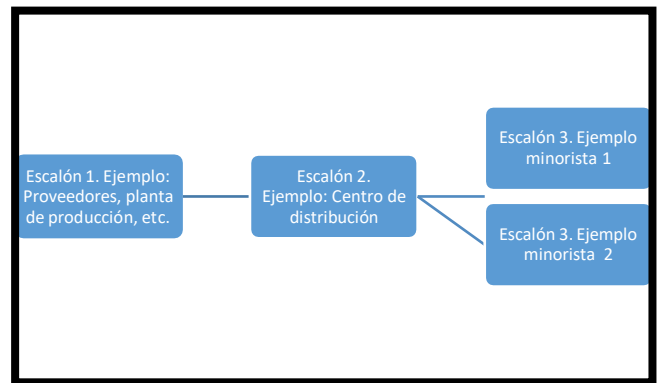


Figura 1. Ejemplo de inventario multi-escalón de tres escalones.

2 METODOLOGÍA

Con el fin de encontrar los artículos apropiados fue necesario definir palabras clave y para ello, se emplearon multi-escalón y multi-productos.

Inicialmente se dio prioridad a la búsqueda en español, pero dado que la mayoría de las publicaciones científicas en fuentes digitales está disponible únicamente en inglés, resultó más conveniente seguir el proceso en este idioma. Cabe destacar que se consideró un periodo de revisión de 1999 a 2020.

Con la idea clara de qué palabras clave utilizar, se decidió también dar prioridad a la herramienta de Recursos Electrónicos de Información que la Universidad Autónoma del Estado de México ofrece a los miembros de su comunidad universitaria. Alumnos, profesores, investigadores y más tienen acceso a una gran red de publicaciones científicas a través de diferentes revistas, libros y trabajos de referencia disponibles digitalmente. En este caso, una de las bases de datos que más contribuyó fue Springer Link, donde se encontró 75% de los documentos científicos empleados en este análisis, sin dejar fuera a otras plataformas o medios como ScienceDirect y Taylor & Francis.

A través de la búsqueda de artículos de investigación acerca de modelos de inventarios multi-escalón, se confirma que la gran mayoría es de dos y tres escalones, donde además de tocar la temática de multi-escalón en sus modelos de inventarios, agregan restricciones específicas a diferentes casos de estudio, en donde se llega a la conclusión de que se les puede dar un nivel más elevado de servicio dependiendo de las variables que se ven intervenidas. El objetivo de este tipo de modelos es diseñar una estructura de la cadena de suministro bajo restricciones de producción-distribución, donde las decisiones fundamentales son minimizar costos o maximizar beneficio considerando los parámetros básicos de decisión en las diferentes políticas [3].

Asimismo, al realizar la búsqueda de documentos referentes a la temática de multi-producto, fue posible encontrar algunos artículos con contenido similar a las características buscadas, agregando incluso algunas otras que fueron de gran utilidad. Después de haber realizado la búsqueda y selección parcial de los artículos científicos, se procedió a la lectura del abstract y conclusiones de todos ellos, logrando así un filtrado un poco más profundo, descartando aquellos que no compartían similitudes con la problemática deseada o que simplemente no eran útiles para una futura referencia. Al filtrar el número de documentos encontrados, se dio una lectura completa a cada uno de los restantes para determinar si cumple con los requerimientos definidos al propósito de este trabajo, que es encontrar literatura adecuada y enfocada a problemáticas de inventarios de tipo multi-escalón y multi-producto.

Una vez realizado el procedimiento anterior, se

construyó la Tabla 1, la cual incluye las características de cada uno de los artículos leídos en un corto pero puntual resumen y objetivos que persiguen, así como su autor y año de publicación. La Tabla 1 resulta de gran utilidad, no solamente para dar una referencia resumida de cada artículo, sino también para facilitar la identificación de artículos en futuros trabajos relacionados.

3 REVISIÓN GENERAL DE LA LITERATURA

En la sección dos se dieron detalles del proceso de selección de artículos referentes a un sistema de inventarios multi-escalón y multi-productos, sistemas de inventarios manejados por empresas del sector comercio. Estas características fueron inicialmente las palabras clave con las que se inició la búsqueda y se planeaba que lo encontrado, giraría en torno a ello, sin embargo, al analizarlas más cautelosamente, nos damos cuenta que no son los únicos detalles que debemos considerar para buscar implementar una nueva política en los inventarios, ya que, en el caso hipotético de querer hacerlo en el caso de empresas del sector comercio, hay factores importantes que definen las características de estas nuevas políticas, por ejemplo, la naturaleza de los productos que organizan.

En la Tabla 1 se muestran los artículos que cumplieron los requisitos básicos de una política multi-escalón y multi-producto dando prioridad a aquellos que cubrieran características especiales que son parte también de empresas del sector comercio.

Al dar una revisión del propósito de diversos artículos que estudian políticas de inventario multi-escalón y multi-producto, es posible notar que un grupo de ellos tiene como objetivo optimizar el

tamaño de lotes en pedidos de reabastecimiento; por ejemplo [6] estudian condiciones de cadena de suministro multi-producto y de múltiples etapas para determinar el tamaño óptimo de lotes mediante un modelo de lógica difusa, desarrollado y resuelto con ayuda de MATLAB, lenguaje de alto desempeño diseñado para realizar una gran cantidad de cálculos.

En cuanto a [7] en su artículo, tratan un problema enfocado en tamaño de lote dinámico de dos escalones para demandas con ventanas de tiempo y sanciones por entrega anticipada y tardía; mientras que [8] abordan el dimensionamiento dinámico de lotes pero ahora con diferentes productos dentro del mismo lote en el que se presentan dos situaciones diferentes concernientes a la demanda, en una de ellas se da la oportunidad de rechazar pedidos y la otra en la que se impone que toda la demanda debe satisfacerse. Además, [9] deciden analizar una cadena de suministro en la cual se establece por objetivo el determinar la cantidad óptima de producción, al mismo tiempo que se calcula la cantidad óptima de pedido junto con su costo. Para la solución del problema propuesto, utilizan dos paquetes de software, LINGO y Excel.

En un caso similar de dimensionamiento de lotes se encuentra a [10] quienes abordan una problemática en una cadena de suministro multi-producto con múltiples compradores concentrada en establecer una política óptima de dimensionamiento de lotes con un costo total mínimo determinando el número de lotes de los productos transportados, así como su volumen. Para dar solución a lo anterior, se empleó una aproximación externa con relajación de igualdad y

penalización aumentada (OA / ER / AP), evitando así la complejidad de resolución a un problema de programación no lineal mixta.

Así como hubo trabajos encontrados a lo largo de la revisión de literatura, que abordan temas de dimensionamiento de lote, también se halló un grupo de artículos que compartían la temática del cálculo del punto de reorden, tal es el caso de [11], en su artículo, tratan un sistema de inventarios en el que derivan un método computacional para obtener el nivel de order-up-to y las fracciones de asignación necesarias para alcanzar determinadas tasas de reabastecimiento objetivo de un sistema de inventario dado, usando un método computacional para obtener dicho punto de orden. A [12] estudiaron un sistema de inventarios con distribución de dos niveles, consistente en el primer nivel como una red de minoristas o distribuidores idénticos y un único proveedor como segundo escalón considerando que en todas las instalaciones se maneja un inventario de revisión continua con el fin de encontrar puntos de reorden óptimos para tamaños de lote establecidos en todas las instalaciones a través de unas funciones de costos.

El siguiente trabajo encontrado con temática similar a los dos inmediatos anteriores es el de [13], quien se enfoca en una cadena de suministro de dos escalones con estrategia de inventario administrada por el proveedor para encontrar las frecuencias de reabastecimiento para minimizar el costo total de inventario mediante un modelo de programación lineal de enteros mixtos resolviéndolo con ayuda de algoritmos genéticos. Con frecuencia es posible encontrar literatura que

tenga como finalidad modelar una cadena de suministro y reducir los costos totales, tal es el caso de [14] quienes en uno de sus trabajos modelan una cadena de suministro de tres escalones, determinado su función de costo tomando como base el modelo de Axsäter de política uno a uno con ciertas modificaciones. Por otro lado, [15] trabajaron en reducir el costo total de una cadena de suministro de tres escalones con restricciones como espacio limitado de almacenamiento y con una demanda con distribución de Poisson mediante un algoritmo de enjambre de partículas. Por su parte, [16] desarrollan un modelo matemático que minimiza el costo total de los eslabones de una cadena de suministro de dos escalones, con demanda de Poisson y otras características.

Contemplando las características de los modelos y soluciones propuestas en cuanto a minimización de costos de una cadena de suministro completa, se encontraron autores que decidieron enfocarse en un solo eslabón, el de inventarios. Tal es el caso de [17] quienes orientaron uno de sus artículos en el cálculo de un costo esperado del sistema de inventario de una cadena de suministro de tres escalones al incorporar implícitamente la función de distribución de retraso aleatorio. [18] proponen un modelo de gestión de inventario integrado dentro de una cadena de suministro de tres escalones desarrollando un modelo matemático no lineal mixto entero que debido a la complejidad que conlleva resolverlo, se usa un algoritmo metaheurístico. Asimismo, se tiene el caso de una cadena de suministro de condiciones reales y varias limitaciones o restricciones en tiempo de producción, nivel de inventario, etc. A la que

minimizan el costo de mantenimiento mediante el uso de un algoritmo genético en MATLAB para resolverlo [19].

En 2007 [20] establecieron como objetivo eliminar una ineficiencia de costos existente entre sistemas centralizados y descentralizados de inventarios empleando un método de dos mecanismos de coordinación: uno para sistemas de transmisión en serie y otro para sistemas de distribución. Dos años más tarde, es publicado un artículo elaborado por

[21] dentro del cual, se realiza un análisis de rendimiento de una red de la cadena de suministro de dos niveles en un entorno estocástico para pedidos por lotes en tres casos diferentes con el uso de modelos de cola. Además, el artículo

[22] trata una problemática de una cadena de suministro coordinada sujeta a interrupciones de suministro aleatorias en donde se consideran limitaciones por incertidumbre en la demanda y plazos de reabastecimiento, lo cual fue resuelto con un enfoque de dos fases basado en la teoría de colas y un algoritmo genético híbrido.

3.1 REVISIÓN ESPECÍFICA DE LA LITERATURA

La literatura encontrada y revisada contiene temas relacionados a inventarios en muchas de sus vertientes, sin embargo, se halló especial interés en algunos artículos con información relacionada con empresas del sector comercio. Uno de estos artículos fue desarrollado por [1] quienes abordan el caso de una cadena de suministro integrada de múltiples mayoristas en una modalidad de tres niveles, el primero es el proveedor, segundo, productor y el tercero consiste en una red de múltiples mayoristas, en donde se pretende

modelar y calcular el número óptimo de lotes de pedido y el tamaño que cada uno de ellos tendrá, minimizando el costo total de inventario, sujeto a restricciones propias de las instalaciones como el espacio limitado en almacén, el número de órdenes que se pueden colocar, el número de productos que cada nivel puede ordenar, costos de adquisición, costos de manejo de inventario y el costo del almacén para la etapa de productor.

A sabiendas de las restricciones que se imponen en la cadena de suministro planteada, los autores proponen tratar el problema como un modelo de programación lineal de enteros mixtos, con los inconvenientes de que el modelo de programación lineal es a gran escala y difícil de resolver.

La solución a este inconveniente los autores [1] la hallaron con el empleo de una herramienta que ayuda a resolver modelos como el expuesto, denominado algoritmo GOA (Grasshopper Optimisation Algorithm por sus siglas en inglés). Al aplicar este algoritmo, en tres problemas de diferentes escalas propuestos y haciendo un pequeño análisis de sensibilidad a las variables implicadas, se llega a la conclusión de que los resultados arrojados por el algoritmo tienen un rendimiento aceptable determinando el número óptimo de lote y su tamaño en la minimización de costos de inventario del problema.

Por otra parte, se encontró el artículo de autoría de [2] que centra su contenido en el diseño de una cadena de suministro de modalidad multi-escalón con una demanda normalmente distribuida. A lo largo de su trabajo, se propone un modelo que se ocupa del diseño de la red de la cadena de suministro bajo un enfoque de

flexibilidad para facilitar la demanda estocástica a la que está sujeta la red de la cadena de suministro.

El artículo en cuestión tiene como propósito una contribución del diseño de la cadena de suministro sujeta a restricciones de capacidad y producción formuladas bajo el criterio de minimizar el costo total de la cadena de suministro y el tiempo de entrega estimado.

El autor [2] con información anterior, formula el problema como un modelo de programación no lineal de enteros mixtos multiobjetivo. Asimismo, se producen mediciones estadísticas como las probabilidades de desabastecimiento y exceso de existencias. Consideró también la restricción que el tiempo de entrega esperado, incluye la cantidad de inventario que se mantiene en los centros de distribución con las decisiones sobre el exceso y la falta de inventario además del tiempo correspondiente para cada uno.

[2] en su trabajo plantea la cadena de suministro en tres escalones, el primero de ellos son las plantas de producción, el segundo son centros de distribución y el tercero, los clientes. Se contempla la idea también de que, en el segundo escalón de la cadena, es decir, en las plantas de producción, se producen múltiples productos diferentes, los cuales, al salir de la planta son transportados y mantenidos en almacenes, para después ser entregados a través de centros de distribución con capacidad de almacenaje limitada a los clientes finales.

En el planteamiento también se considera la restricción de que la capacidad de almacenamiento de las instalaciones tiene un límite máximo y mínimo y que la demanda de los clientes está distribuida de una manera normal

con una desviación estándar para cada producto y cada cliente.

El objetivo del problema que se plantea en el artículo [2] es reducir los costos de la cadena de suministro, entre los que se incluyen a los costos de producción, costo de mantener inventario y el costo de transportar los productos a los centros de distribución y de ahí, transportarlos a los clientes. Una vez formulada la función objetivo, el autor procede a realizar un análisis de sensibilidad donde se determina que a medida que aumentan rápidamente los parámetros, hay más casos de desabastecimiento, lo que conduce a un tiempo de entrega esperado más largo para cada cliente.

El tercer documento encontrado que trata con problemas de características similares a las de las empresas del sector comercial, es [22] y tiene como tema principal la idea de la racionalización de stock implementada en un modelo de inventario de revisión continua, que consiste en dos escalones que tiene como objetivo establecer una política de inventario apuntando a lograr un balance entre dos costos que resultan de vital importancia, los cuales son: el de no satisfacer la demanda de clientes directos y el de no satisfacer un pedido de reabastecimiento de un minorista, siendo el primero de ellos más elevado que el segundo.

Como parte de los elementos que conforman a la cadena de suministro del problema planteado, se considera un almacén, y n -minoristas en donde se genera demanda tanto en el almacén como en los minoristas [22]. La idea que se considera más importante es que, con este modelo se establecen diferentes niveles de servicio tanto para los minoristas como para la demanda de los clientes

directos en el almacén, es decir aplicar algún tipo de política de racionalización de stock. Se define que si un almacén que tiene una política de inventario de revisión periódica (s, S) , no satisface la orden de reabastecimiento de un minorista del stock que tiene en mano, una orden de emergencia se coloca a un proveedor externo, el cual es entregado directamente al cliente.

Una ventaja de este modelo es que el tiempo de entrega para un minorista es menos incierto. Anteriormente ya se había hablado de racionalizar el stock del almacén, esto se hace para aplicar un ranking de prioridades entre minoristas, siendo la demanda generada directamente en almacenes la que tendrá preferencia sobre las demás.

Como parte de las conclusiones del modelo de este artículo [22], se considera el hecho de que la diferencia promedio entre los límites y el costo exacto es cerca del 2.5%, y que el error de costo promedio de la aproximación heurística comparada con la política óptima, fue de aproximadamente 1.5%. Mas importante aún es el hecho de que aplicar una política de nivel crítico en un almacén, en lugar de una política simple donde todas las demandas son tratadas de la misma manera, lleva a una reducción de costos.

4 CONCLUSIONES

A lo largo de la revisión de literatura realizada fue inevitable percatarse de que la mayor parte está orientada al sector industrial. Sin embargo, se seleccionaron algunos de ellos que destacan por las características de sus restricciones o limitaciones, en el objetivo que persiguen e incluso en el método que utilizan para dar solución al problema principal que plantean que

estuvieran a empresas del sector comercial, a pesar de que fueron muy pocos. Los objetivos que se persiguen en la literatura revisada son cálculos de tamaños de lote, puntos de reorden óptimos, minimización de costo total de la cadena de suministro, comparación entre sistemas de inventarios centralizados y no centralizados, análisis de rendimiento en una red de cadena de suministro y ubicación de inventarios. Para la solución de los problemas abordados en cada uno de los artículos encontrados se emplearon diferentes métodos de solución, tales como modelos de cola, algoritmos de tiempo polinómico y algoritmos de optimización metaheurísticos como el genético y métodos de aproximación externa generalizada.

Es importante resaltar que en la búsqueda de artículos de investigación acerca de políticas de inventario multi-escalón, se encontraron en su mayoría modelos de dos y tres escalones los cuales están sujetos a restricciones de diferente naturaleza. Estos artículos fueron encontrados en tres grandes plataformas digitales de bases de datos, Springer Link, ScienceDirect, y Taylor & Francis del año 1999 al 2020. Estas bases de datos en gran medida facilitan la labor de búsqueda por la flexibilidad que manejan. Al ofrecer la posibilidad de especificar criterios de búsqueda avanzados con palabras clave, categorías y años de publicación, entre otros.

Para investigaciones futuras es importante el desarrollo de nuevos trabajos relacionados con el sector comercio, lo cual permitiría mayor apoyo a los tomadores de decisiones de este sector, ya que incluirían más características propias del campo de estudio y la utilización de modelos de

inventarios de tres escalones que controlen una amplia cantidad de productos incluyendo los perecederos, considerando el costo de desecho en caso de alcanzar su fecha de caducidad en almacén, además de que permitiría un amplio análisis de literatura relacionada al tema.

Tabla 1. Objetivo y resumen por artículo analizado

Autor (año)	Objetivo	Resumen
Matthieu van der Heijden, Erik Diks, Tonde Kok (1999)	Se deriva un método computacional para obtener el nivel de order-up-to y las fracciones de asignación necesarias para alcanzar determinadas tasas de reabastecimiento objetivo.	Trata del control integral de inventarios en sistemas divergentes de varios escalones con tiempos de entrega estocásticos. La política considerada es una política de stock escalonado, revisión periódica, pedido hasta (R, S). Sin embargo, no es un modelo multi-producto.
P. Nagaraj V. and Selladurai (2002)	Determinar el tamaño de los lotes en una situación multi-producto y de múltiples etapas en presencia de sistemas de soporte de decisiones para la máxima capacidad.	Para satisfacer los requisitos de demanda en sistemas de fabricación de múltiples etapas y múltiples productos, es importante especificar las cantidades de producción factibles, como tamaños de lote para cada producto final, durante un período de tiempo finito en cada etapa. Estos temas son tratados en el artículo. El modelo solo es aplicable para situaciones de producción, se desprecian tiempos de entrega.
Wikrom Jaruphongsa, Sila Çetinkaya y Chung-Yee Lee (2004)	Desarrollar un modelo que permita satisfacer demandas durante las ventanas de tiempo preestólicas.	Este documento considera un problema de tamaño de lote dinámico de dos escalones para demandas con ventanas de tiempo y sanciones por entrega anticipada y tardía. Al ser un área referente a manufactura, no incluye restricciones de capacidad de producción. Desprecia capacidad de inventario y de capacidad de carga. No es un modelo multi-producto.
Sven Axsäter, Marcel Kleijn, Ton G. de Kok, (2004)	Establecer una política de inventario que balancee el costo más elevado de no satisfacer la demanda de clientes directos que de no satisfacer un pedido de reabastecimiento de un minorista. Es decir, establecer un nivel de servicio más alto para la demanda directa del cliente.	Se introduce una política de nivel crítico en el almacén; Para cada minorista se establece un nivel crítico de modo que el pedido de reabastecimiento de un minorista se satisfaga con las existencias del almacén si y solo si el nivel de existencias está por encima del nivel crítico del minorista. Se trata de un problema de dos escalones, no es multi-producto, no hay restricciones de espacio de almacenamiento y para productos perecederos.
Henk Zijm y Judith Timmer (2007)	Eliminar ineficiencia de costos entre sistemas centralizados y descentralizados de inventarios.	Se trata la coordinación del control de inventarios en los sistemas de distribución y en serie de tres escalones bajo control descentralizado y se compara con los centralizados para minimizar ineficiencias de costos. Se consideran los casos en donde se permite y no se permite el retraso. Da enfoque a la red de distribución de un solo producto con un tiempo de entrega igual para todos los minoristas.
A. Thangam y R. Uthayakumar (2008)	Encontrar puntos de reorden óptimos para tamaños de lote establecidos en todas las instalaciones a través de una función de costos.	Se considera un sistema de inventario de distribución de dos niveles con minoristas idénticos en el escalón inferior y un único proveedor en el escalón superior. Se maneja el inventario con revisión continua (R,Q) en todas las instalaciones. Se asumen demandas independientes de Poisson con plazo de entrega estocástico para los minoristas y un tiempo de transporte constante para reponer pedidos de proveedores desde un almacén externo. Se presentan múltiples ejemplos numéricos para el tiempo de entrega con distribución gamma. El modelo maneja un solo producto, se limita a que los minoristas tengan características iguales.

Sandeep Jain · N. R. Srinivasa Raghavan (2009)	Realizar análisis de rendimiento de la red de la cadena de suministro de fabricación en un entorno estocástico para pedidos por lotes en tres casos diferentes.	El análisis se combina con un modelo de optimización de inventario, que se puede utilizar para diseñar políticas de inventario. En el primer caso, modelamos un fabricante con un almacén, que abastece a varios minoristas. En el segundo, se impone una restricción de nivel de servicio en términos de tasa de cumplimiento. En el tercer caso, se amplía el modelo a un modelo de inventario de tres escalones que considera explícitamente el proceso logístico. Modelo de un solo producto.
---	--	--

Liang Lu y Xiangtong Qi (2010)	Dimensionamiento dinámico de lotes multi-producto, donde los inventarios de todos los productos se reponen juntamente con la misma cantidad siempre que se produce una producción.	Primero se presenta el problema general que permite el rechazo de la demanda con pérdida de costos de ventas. Luego un caso especial en el que todas las demandas deben satisfacerse de inmediato y de muestra que se puede resolver en tiempo polinomial. Se trata de un modelo multi-producto con solo escalón, en cada lote se enviará con la misma cantidad de cada producto.
Mostafa Hajiaghaei-keshteli y Seyyed Mehdi Sajadifar (2010)	Entrar la función de costo en un sistema de inventario de tres escalones con dos almacenes y n-minoristas.	Se toma como referencia inicial la idea de Axsäter con el fin de derivar los costos totales de mantener inventario y reducir costos para una demanda unitaria en un sistema de inventario de tres escalones con una política de colocación de pedidos one-for-one. Se limita a una sola política de pedido.
Mostafa Hajiaghaei-Keshteli, Seyyed Mehdi Sajadifar y Rasoul Haji (2010)	Obtener el valor exacto del costo esperado del sistema de inventario.	Se maneja un sistema de inventario en serie de tres escalones con dos almacenes (proveedores) y un minorista con intercambio de información. El minorista aplica la política de revisión continua (R, Q). No es un modelo multi-producto.
Konstantinos Petridis (2013)	Diseño óptimo de una red de suministro multi-producto y escalonado bajo incertidumbre de la demanda.	Con un MINLP se ofrecen decisiones de estructura de la red, capacidades, transporte y niveles de inventarios de productos en una red de CS multi-escalón y multi-producto con demanda de distribución normal con probabilidades de cuales productos están sin stock y su tiempo de entrega.
Maryam Alimardani, Fariborz Jolai and Hamed Rafiei (2013)	Reducir el costo total de la red de la cadena de suministro.	En este documento, se aplica la política de revisión continua (S-1, S) para el control de inventario en una cadena de suministro (SC) de tres escalones que incluye minoristas idénticos, un almacén central (modelo de cola (M/M/1) con espacio de almacenamiento limitado y dos plantas de fabricación independientes que ofrecen dos tipos de productos para el cliente, donde la demanda sigue una función de distribución de probabilidad de Poisson. Una limitante importante es que los minoristas son idénticos que solo manejan dos productos.
Mahdi Shafieezadeh y Ahmad Sadeghi (2013)	Propone un modelo de gestión de inventario integrado dentro de una cadena de suministro (SC) de varios elementos y niveles.	Marco de gestión de inventario para una cadena de suministro de varios artículos de tres escalones. Se maneja una cadena de suministro compuesta de múltiples proveedores, múltiples plantas de fabricación y múltiples minoristas. Se emplea un algoritmo de evolución diferencial para la solución del problema MINLP. Los lotes enviados al último escalón son iguales.
Mirbahador Gholi AriaNezhad, Ahmad Makuie and Saeed Khayatmoghadam (2013)	Minimizar el costo de mantenimiento de toda la cadena de suministro real.	El problema maneja restricciones reales como el tiempo de producción, la capacidad de almacenamiento, el nivel de inventario, los métodos de transporte y el tiempo de sostenibilidad se consideran en el modelo. Solución con MATLAB con algoritmo genético. El costo de desecho del producto, en caso de que se llegara a su fecha de caducidad, es despreciado.
Asieh Varyani, Amir Jalilvand-Nejad y Parviz Fattahi (2014)	Minimizar el costo total anual conjunto esperado optimizando simultáneamente la cantidad de pedido, el costo de pedido y el número de envíos por ejecución de producción para cada planta de un modelo de inventario de tres escalones.	Se considera un modelo de inventario de producción integrado, consiste en almacén central y una fábrica que incluye dos departamentos independientes de etapas de procesamiento y ensamblaje. Se presenta un modelo de programación no lineal que se resuelve mediante la técnica de bifurcación en el software LINGO, el método GRG en Excel y el algoritmo de recocido simulado propuesto para lograr las soluciones óptimas para un problema de minimización de costos. Para comprobar la efectividad de los resultados se plantean veinte problemas de prueba. No es un modelo multi-producto.

Javad Sadeghi (2015)	Encontrar frecuencias de reabastecimiento y cantidades de pedidos para minimizar el costo total del inventario.	Se desarrolló un modelo de inventario como MINLP para una cadena de suministro de dos escalones con respecto a la estrategia de inventario administrada por el proveedor, mientras que el espacio del almacén estaba restringido. Se da solución con un algoritmo genético complementado con un buscador local denominado algoritmo competitivo imperialista. convendría que se tratara de un modelo inventario de tres escalones que no sea manejado por el proveedor.
Manoj Baburao Parjane, Balaji Marutira o Dabade, Milind Bhaskar Gulve (2016)	Desarrollar un modelo matemático que minimice el costo total a lo largo de los escalones en un entorno de una cadena de suministro multi-escalón.	Sistema de cadena de suministro de dos escalones con un fabricante, un minorista y M- productos. El minorista enfrenta una demanda de Poisson independiente para cada producto. la información sobre cualquier agotamiento en el inventario de un producto al final de un minorista está inmediatamente disponible para el fabricante. Se calcula el lote de producción y a partir de qué nivel de inventario del minorista, este lote debe comenzar a ser fabricado. Se desprecia restricción de capacidad de producción.
Abolfazl Gharaei Ph.D Visiting Scholar , Mostafa Karimi Msc, Seyed Ashkan Hoseini Shekarabi Msc (2019)	Determinar la política óptima de dimensionamiento de lotes con costo total mínimo en una CS de multi-producto y multi-comprador que encuentre tanto el número de lotes del vendedor para cada uno de los productos transportados como el volumen de los lotes a los compradores con el fin de minimizar costo total.	Para determinar una política de dimensionamiento de lotes, se recurre a la utilización de una aproximación externa (Outer Approximation with Equality Relaxation and Augmented Penalty, OA/ER/AP), en lugar de un Modelo de Programación no Lineal de enteros mixtos. Esta aproximación incorpora políticas ecológicas, inventario gestionado por el proveedor con acuerdo de stock en consignación. Es un modelo de un solo escalón, se ignoran tiempos de entrega.
Seyed Ashkan Hoseini Shekarabi, Abolfazl Gharaei and Mostafa Karimi (2018)	Determinar el número óptimo de lotes para un costo total mínimo cumpliendo con restricciones estocásticas de una cadena de suministro multi-producto y multi-escalón	Se modela una cadena de suministro integrada multi-producto, multi-mayorista y multi- escalón, bajo escasez y espacio limitado en almacén con dos objetivos, determinar el número óptimo de lotes y su volumen óptimo para minimizar el costo total de la Cadena de Suministro. Resulta un problema de enteros mixtos no lineales el cual se optimiza con aproximación externa y relajación. Sin embargo, no es un modelo multi-producto
Yunhua Liao, Ehsan Dehghanib, Mohammad Saeed Jabalamelib, Ali Diabatc,d, Chung -Cheng Lue. 2020	Seleccionar un conjunto de depósitos o almacenes para satisfacer la demanda de los minoristas de la cadena de suministro de tres niveles	Se trata un problema de ubicación de inventario coordinado en un sistema de cadena de suministro estocástico donde las instalaciones están sujetas a interrupciones de suministro aleatorias. También se considera que la demanda y los plazos de reabastecimiento están limitados por incertidumbres. Se resuelve el modelo con teoría de colas y un algoritmo genético híbrido. No es un modelo multi-producto.

5 REFERENCIAS

- [1] S. A. Hoseini Shekarabi, A. Gharaei, and M. Karimi, "Modelling and optimal lot- sizing of integrated multi-level multi- wholesaler supply chains under the shortage and limited warehouse space: generalised outer approximation," *Int. J. Syst. Sci. Oper. Logist.*, vol. 6, no. 3, pp. 237–257, 2019, doi: 10.1080/23302674.2018.1435835.
- [2] A. R. Ravindran and D. Warsing Jr., *SupplyChain Engineering*. 2016.
- [3] K. Petridis, "Optimal design of multi- echelon supply chain networks under normally distributed demand," *Ann. Oper. Res.*, vol. 227, no. 1, pp. 63–91, 2015, doi: 10.1007/s10479-013-1420-6.
- [4] R. H. Ballou, *Logística Administracion de la Cadena de Suministro*, Quinta Edi. PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- [5] S. Axsäter, *Inventory Control. [electronic resource]*, Third Edit. 2015.
- [6] P. Nagaraj and V. Selladurai, "Analysis of optimum batch size in multistage, multifacility and multiproduct manufacturing systems," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 19, no. 2, pp. 117–124, 2002, doi: 10.1007/s001700200004.
- [7] W. Jaruphongsa, S. Çetinkaya, and C. Y. Lee, "A two-echelon inventory optimization model with demand time window considerations," *J. Glob. Optim.*, vol. 30, no. 4, pp. 347–366, 2004, doi: 10.1007/s10898-004-6092-y.
- [8] L. Lu and X. Qi, "Dynamic lot sizing for multiple products with a new joint replenishment model," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 212, no. 1, pp. 74–80, 2011, doi: 10.1016/j.ejor.2011.01.031.
- [9] A. Varyani, A. Jalilvand-Nejad, and P. Fattahi, "Determining the optimum production quantity in three-echelon production system with stochastic demand," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 72, no. 1–4, pp. 119–133, 2014, doi: 10.1007/s00170-014-5621-1.
- [10] A. Gharaei, M. Karimi, and S. A. Hoseini Shekarabi, "An integrated multi-product, multi-buyer supply chain under penalty, green, and quality control policies and a vendor managed inventory with consignment stock agreement: The outer approximation with equality relaxation and augmented penalty algorithm," *Appl. Math. Model.*, vol. 69, pp. 223–254, 2019, doi: 10.1016/j.apm.2018.11.035.
- [11] M. Van Der Heijden, E. Diks, and T. De Kok, "Inventory control in multi-echelon divergent systems with random lead times," *OR Spektrum*, vol. 21, no. 3, pp. 331–359, 1999, doi: 10.1007/s002910050093.
- [12] A. Thangam and R. Uthayakumar, "A two-level distribution inventory system with stochastic lead time at the lower echelon," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 41, no. 11–12, pp. 1208–1220, 2009, doi: 10.1007/s00170-008-1567-5.
- [13] J. Sadeghi, "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*, vol. 52, no. 4, pp. 631–649, 2015, doi: 10.1007/s12597-015-0198-5.
- [14] M. Hajiaghahi-Keshteli and S. M. Sajadifar, "Deriving the cost function for a class of three-echelon inventory system with N-retailers and one-for-one ordering policy," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 50, no. 1–4, pp. 343–351, 2010, doi: 10.1007/s00170-009-2486-9.
- [15] M. Alimardani, F. Jolai, and H. Rafiei, "Bi- product inventory planning in a three- echelon supply

- chain with backordering, Poisson demand, and limited warehouse space,” *J. Ind. Eng. Int.*, vol. 9, no. 1, 2013, doi: 10.1186/2251-712X-9-22.
- [16] M. B. Parjane, B. M. Dabade, and M. B. Gulve, “Two Echelon Supply Chain Integrated Inventory Model for Similar Products: A Case Study,” *J. Inst. Eng. Ser. C*, vol. 98, no. 3, pp. 353–358, 2017, doi: 10.1007/s40032-016-0221-5.
- [17] M. Hajiaghaei-Keshteli, S. M. Sajadifar, and R. Haji, “Determination of the economical policy of a three-echelon inventory system with (R, Q) ordering policy and information sharing,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 5–8, pp. 831–841, 2011, doi: 10.1007/s00170-010-3112-6.
- [18] M. Shafieezadeh and A. Sadegheih, “Developing an integrated inventory management model for multi-item multi-echelon supply chain,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 72, no. 5–8, pp. 1099–1119, 2014, doi: 10.1007/s00170-014-5684-z.
- [19] M. G. AriaNezhad, A. Makuie, and S. Khayatmoghadam, “Developing and solving two-echelon inventory system for perishable items in a supply chain: case study (Mashhad Behrouz Company),” *J. Ind. Eng. Int.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2013, doi: 10.1186/2251-712X-9-39.
- [20] H. Zijm and J. Timmer, “Coordination mechanisms for inventory control in three-echelon serial and distribution systems,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 158, no. 1, pp. 161–182, 2008, doi: 10.1007/s10479-007-0239-4.
- [21] S. Jain and N. R. S. Raghavan, “A queuing approach for inventory planning with batch ordering in multi-echelon supply chains,” *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, vol. 17, no. 1, pp. 95–110, 2009, doi: 10.1007/s10100-008-0077-8.
- [22] Y. Liu, E. Dehghani, M. S. Jabalameli, A. Diabat, and C. C. Lu, “A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory–optimization model approach,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 142, no. January, p. 106326, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106326.