



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Decanato de Ingeniería

Doctorado en Planeación Estratégica
y Dirección de Tecnología

Modelo de Ventas de Múltiples Minoristas con Demanda Incierta
para una Cadena de Suministro Farmacéutica de Dos Niveles con un
Sistema de Inventario Administrado por el Proveedor

Presenta

Luis Fernando Carreón Nava

Tesis para obtener el Grado de Doctor
en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología

Puebla, Pue., México.

Junio 2022



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

El sistema de inventario administrado por el proveedor (VMI) permite a los proveedores administrar sus propios inventarios y los de sus minoristas para mejorar el rendimiento de las cadenas de suministro de dos escalones. Sin embargo, la mayoría de los sistemas VMI consideran los patrones de demanda de los minoristas como deterministas, lo cual es poco común en la práctica donde la variabilidad es significativa. Esto puede conducir a resultados ineficientes, particularmente dentro de la industria farmacéutica, donde una cadena de suministro eficiente a través de VMI es vital. El presente trabajo propone un modelo VMI de múltiples minoristas para maximizar las ganancias de una cadena de suministro de dos escalones en presencia de una demanda no determinista o incierta. Debido a la complejidad del modelo, se desarrolló un algoritmo microgenético para determinar la estrategia de tamaño de lote considerando la variabilidad de la demanda no determinista dentro de la función de utilidad y reducir el riesgo de desabastecimiento. Mediante simulación computacional se probó el modelo VMI propuesto, demostrando que es más eficiente para reducir eventos de desabastecimiento que aquellos que utilizan patrones de demanda deterministas.

ABSTRACT

The Vendor Managed Inventory (VMI) system enables vendors to manage their own and their retailers' inventories to improve the performance of two-echelon supply chains. However, most VMI systems consider the demand patterns of the retailers as deterministic, which is uncommon in practice where variability is significant. This can lead to inefficient results, particularly within the pharmaceutical industry where an efficient supply chain through VMI is vital. The present work proposes a multi-retailer VMI model to maximize the profits of a two-echelon supply chain in the presence of non-deterministic or uncertain demand. Due to the complexity of the model, a micro-genetic algorithm was developed to determine the lot size strategy considering the variability of the non-deterministic demand within the profit function and reduce the stockout risk. Through computer simulation, the proposed VMI model was tested, showing that it is more efficient to reduce stockout events than those using deterministic demand patterns.

INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INDICE.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Planteamiento del Problema	9
1.2 Justificación de la Investigación	10
1.3 Objetivos de la Investigación.....	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos	11
1.4 Preguntas de Investigación	11
1.5 Alcances, Viabilidad y Limitaciones de la Investigación.....	12
1.5.1 Alcance	12
1.5.2 Viabilidad	12
1.5.3 Limitaciones	12
1.6 Resultados (a priori) esperados.....	12
1.7 Contribuciones Originales Esperadas	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Cadenas de Suministro.....	14
2.1.1 Cadena de Suministro de Dos Eslabones	16
2.1.2 Las Cadenas de Suministro en el Sector Salud.....	17
2.2 Inventario Administrado por el Proveedor	18
2.2.1 Condiciones de Aplicación.....	21
2.2.2 Importancia para el Sector Salud.....	22

2.3 Modelos de Control de Inventarios	23
2.4 Métodos Cuantitativos para Solución de Modelos VMI	24
2.4.1 Optimización de Enjambre de Partículas.....	26
2.4.2 Algoritmo Genético	27
2.4.3 Teoría de Juegos	28
3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.1 Modelo VMI de Referencia.....	30
3.2 Modelo VMI Extendido Propuesto	31
3.3 Método de Solución: Algoritmo Microgenético.....	34
4. RESULTADOS	39
4.1 Obtención de Resultados Numéricos.....	39
4.2 Validación de Resultados a Través de Simulación.....	40
5. CONCLUSIONES.....	43
6. PUBLICACIÓN INDIZADA (ESCI, CONACYT)	44
7. REFERENCIAS	58

1. INTRODUCCIÓN

El Inventario Administrado por el Proveedor, o *Vendor Managed Inventory* (VMI), es una estrategia efectiva de gestión de inventario adoptada para mejorar el desempeño de la Cadena de Suministro (CS) (De Giovanni et al., 2019; Govindan, 2013). Con un sistema VMI, el vendedor o fabricante gestiona sus propios inventarios y los de sus minoristas y/o compradores (Gharaei et al., 2019). Por lo tanto, bajo un sistema VMI, el proveedor administra directamente el inventario en los almacenes de los minoristas, rastreando con frecuencia sus niveles de inventario para determinar el momento más apropiado para producir y distribuir nuevo inventario para reabastecerlos a medida que sus niveles disminuyen por la compra de los clientes (Bai et al., 2019).

Para llevar a cabo estos procesos, todos los participantes de la CS deben conocer la información y las necesidades de los clientes finales. Para ello, VMI involucra colaboración y políticas a través de contratos para asegurar que el flujo de información y la planificación flexible de la producción y distribución se realicen de acuerdo con las necesidades de los minoristas y las capacidades de los vendedores, fomentando la participación de todas las entidades para mejorar la eficiencia y reducir los costos de la CS (Ben-Daya et al., 2013; De Giovanni et al., 2019, Beheshti et al., 2020). Por lo tanto, VMI es una de las mejores formas de cooperación entre los miembros del CS para reducir significativamente los diversos costos y distribuir los beneficios de manera justa entre ellos. Esto representa un contraste importante en comparación con el CS tradicional, donde la mayoría de los acuerdos entre los diferentes miembros de la CS (proveedores/vendedores de primer/segundo nivel, mayoristas o minoristas, etc.) son no cooperativos sin beneficio mutuo, favoreciendo solo a los intereses de un miembro (vendedor o minorista) (Beheshti et al., 2020).

Los beneficios de adoptar VMI se han atribuido al intercambio de información y la transferencia de control, que agregan valor. Aunque la competitividad en el mercado de los vendedores y la cooperación entre minoristas y vendedores se asocian positivamente con la adopción de VMI, dichos beneficios pueden variar según el tipo de modelo considerado para el sistema VMI (Lu & Zhao, 2007; Dong et al., 2014). Por lo tanto, los modelos operativos

y las tecnologías que se consideran para respaldar el sistema VMI deben seleccionarse y adaptarse cuidadosamente para lograr un rendimiento eficiente.

Dentro del sector farmacéutico, existen datos limitados sobre la aplicación de los sistemas VMI. La distribución de medicamentos requiere una alta disponibilidad de existencias y un nivel de servicio debido a su importancia para la salud humana y, en muchos casos, la supervivencia (Krichanchai & MacCarthy, 2017). Tradicionalmente, la forma de garantizar la disponibilidad de estos productos ha sido mantener altos niveles de inventario. Sin embargo, esta forma conduce a aumentar los costos de gestión de inventario y los riesgos de obsolescencia cuando los medicamentos tienen una fecha de caducidad corta (De Vries, 2011). Además, el riesgo de desabastecimiento también es significativo, ya que la escasez es común (Krichanchai & MacCarthy, 2017).

En este contexto, VMI puede ser una solución adecuada para mejorar la colaboración, el intercambio de información y la reducción de costos a través de todas las entidades del sector farmacéutico, como hospitales, distribuidores de fármacos/medicamentos y laboratorios (Mustaffa y Potter, 2009; Watson et al., 2012) . Por lo tanto, el presente trabajo propone un sistema VMI para este sector basado en los hallazgos de Diabat (2014) y Salehi-Amiri et al. (2020) para la CS de dos niveles. El presente trabajo contribuye con la integración del elemento real de las demandas inciertas o no determinísticas dentro de la estrategia de control de inventarios del VMI para reducir los riesgos de desabastecimiento ante la presencia de patrones de demanda altamente variables. Además, se propone un algoritmo microgenético para resolver la función de beneficio de la CS de dos escalones que consiste en el tamaño de lote económico requerido para reducir los costos de gestión de inventario y los riesgos de escasez. Finalmente, se desarrollan modelos de simulación para evaluar el rendimiento de la solución, que con frecuencia está ausente en otros trabajos en el campo.

1.1 Planteamiento del Problema

La administración de inventarios es una parte fundamental de la Cadena de Suministros (CS) y del sector económico. En la industria es necesario un inventario para regular el proceso de producción en una demanda variable. Cuando hay incertidumbre en la demanda, los inventarios se usan como protección al riesgo de que no se tengan existencias (Chinchuluun et al., 2008). De igual manera, las operaciones en la CS se han transformado, adquiriendo dimensiones cada vez más amplias, proporcionando mayores oportunidades para administrar los inventarios y aumentando considerablemente la complejidad entre la relación de los miembros que la conforman (Kogan & Tapiero, 2009).

El Inventario Administrado por el Proveedor (VMI) es una estrategia eficaz de gestión del inventario que se adopta para mejorar el rendimiento de la CS. Con el sistema VMI, el vendedor o fabricante gestiona el inventario propio y el de su minorista (Gharaei et al, 2019).

En los últimos años la administración de la CS ha sido el enfoque principal en muchas industrias para disminuir costos y mejorar la eficiencia. La importancia aumenta cuando se trata de productos perecederos, como sangre, vacunas, alimentos (Salehi-Amiri et al., 2020). La Organización Mundial de la Salud (OMS) en su visión, propone que la salud se gestione de manera eficaz, con recursos adecuados y orientada a resultados, dedicando atención especial a la transparencia, la responsabilidad y la optimización de recursos.

La mayor parte de modelos enfocados en optimizar la CS se enfocan en maximizar los intereses de un solo miembro, por ejemplo, del comprador. Sin embargo, debe tomarse en cuenta la CS en forma integral debido a que en ella participan diferentes entidades como proveedores y minoristas (Palit & Brint, 2020).

La escasa información sobre VMI aplicado al sector salud abre la oportunidad para implementar este sistema en las CS asociadas a hospitales y la distribución de medicamentos. La forma en que se distribuyen los medicamentos cambia sustancialmente con respecto a otras CS, ya que los proveedores intentan garantizar las existencias disponibles cuando es necesario, sin embargo, siempre existen desabastos (Krichanchai & MacCarthy, 2017).

La manera de garantizar la disponibilidad de medicamentos es mantener un alto nivel de existencia, lo que conlleva costos elevados (De Vries, 2011). En los últimos años, se ha estudiado el sistema VMI, en el que el proveedor administra su propio inventario y el de sus minoristas, para mejorar el rendimiento de las CS de dos escalones. Sin embargo, la mayoría de estos estudios consideran que las demandas de patrón de los minoristas son deterministas (o constantes), lo que es muy poco probable en la práctica, donde la variabilidad es significativa.

Por lo tanto, los sistemas VMI basados en patrones de demanda deterministas pueden conducir a resultados ineficientes, comprometiendo los beneficios de este sistema. Particularmente dentro de la industria farmacéutica, una CS eficiente a través de VMI es vital. El presente trabajo contribuye dentro de este contexto al proponer un modelo VMI de múltiples minoristas para maximizar las ganancias de una CS de dos niveles en presencia de una demanda no determinista o incierta. Debido a la complejidad del modelo, se desarrolla un algoritmo microgenético para determinar la estrategia de tamaño de lote para abordar el patrón variable de la demanda no determinista dentro de la función de beneficio y reducir el riesgo de desabastecimiento. El modelo propuesto fue validado mediante simulación por computadora, lo cual es importante para evaluar dinámicamente el desempeño de los parámetros del modelo. La evaluación dinámica mostró que el modelo propuesto es más eficiente para reducir los eventos de desabastecimiento que los modelos que consideran patrones de demanda deterministas.

1.2 Justificación de la Investigación

La administración de los inventarios es vital para la CS y para las empresas porque de ella dependen la disponibilidad de materia prima por lo que es necesario minimizar costos y tener buenos niveles de inventarios. A partir de metaheurísticas se puede analizar escenarios donde se puede observar si los integrantes de la CS trabajan de forma cooperativa y cómo influyen en los inventarios de tal manera que se pueda adoptar un modelo que contribuya a la mejora de la gestión. Las CS son una parte importante en las industrias, sobretodo en la farmacéutica, la mayor parte del movimiento de materiales dependen de esta por lo que es primordial hacerlas más eficientes, ya que al hacerlo habrá un aumento en la productividad y existirá una mejora en la atención al cliente.

La investigación se justifica en asignar la correcta administración de inventarios en la CS considerando los aspectos primordiales, equilibrio en la atención al cliente, controlar materiales de producción, compra de materiales y minimizar inventarios, considerando el último punto como primordial en la investigación (Kogan & Tapiero, 2009). El uso eficiente de los inventarios y la relación de los miembros de la CS influye directamente a la industria, parte importante del crecimiento de México. El uso adecuado de los inventarios permitirá elevar la productividad.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Proponer un modelo VMI de múltiples minoristas para maximizar las ganancias y reducir riesgos de desabastecimiento en una CS de dos escalones en presencia de una demanda no determinista o incierta.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Proponer un modelo colaborativo que permita maximizar las ganancias de una CS de dos eslabones reduciendo la escasez de medicamentos prioritarios
- Proponer diferentes alternativas para analizar los inventarios de cada uno de los miembros de la CS con un enfoque de escasez por medicamentos.

1.4 Preguntas de Investigación

- ¿Cómo funcionan los inventarios de cada uno de los participantes de una cadena de suministros con un enfoque cooperativo?
- ¿Qué tipo de modelo de inventarios se adapta cuando los miembros de la CS trabajan de forma cooperativa?

1.5 Alcances, Viabilidad y Limitaciones de la Investigación

1.5.1 Alcance

La investigación que se realizará será de tipo exploratoria descriptiva, debido a que el tema de VMI aplicado al sector salud en donde hay riesgos de escasez de medicamento es un tema poco estudiado, por lo cual no hay modelos aplicados a la industria que podrían resolver problemáticas en hospitales, laboratorios y distribuidoras de medicamentos

1.5.2 Viabilidad

- En la parte técnica se tiene la información de proveedores, demanda y acceso a datos de otros autores para poder evaluar el modelo VMI propuesto.
- En la parte teórica se cuenta con información en las distintas fuentes como modelos que se pueden aplicar a la investigación con enfoque de teoría de juegos y optimización.
- En cuanto a recursos materiales la mayor parte de la investigación es realizada a través de datos, y simulación a través del software LINGO para poder corroborar el modelo de inventarios. La universidad cuenta con las licencias necesarias para poder realizar el estudio además del acervo para poder realizar la investigación

1.5.3 Limitaciones

Este trabajo se limitará a proponer un modelo de aplicación de VMI en una CS de dos escalones en la industria farmacéutica.

1.6 Resultados (a priori) esperados

Tradicionalmente, dentro del sector farmacéutico, la forma de garantizar la disponibilidad de productos vitales ha sido mantener altos niveles de inventario. Sin embargo, esto puede conducir a un aumento de los costos de gestión de inventario, obsolescencia y riesgos de desabastecimiento cuando los medicamentos tienen una fecha de caducidad corta o son muy necesarios.

La presente investigación propone un modelo de ventas VMI de múltiples minoristas con la premisa de la incertidumbre de la demanda, ya que los riesgos de escasez están

correlacionados con la variabilidad de la demanda. Como se evalúa dinámicamente a través de la simulación, la variabilidad de la demanda puede conducir a períodos significativos con desabastecimiento. Al integrar datos sobre la variabilidad de la demanda, los niveles de inventario estimados pueden reducir los períodos con desabastecimiento en el CS de dos escalones.

1.7 Contribuciones Originales Esperadas

La contribución de la investigación es realizar un modelo que permita determinar el mejor equilibrio de inventarios entre los miembros de la cadena de suministros. Además de conocer el costo/beneficio de trabajar los inventarios de los miembros de la cadena de forma cooperativa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Cadenas de Suministro

Una Cadena de Suministro (CS) es un sistema que consta de proveedores de materiales, instalaciones de producción, servicios de distribución y clientes que están todos vinculados entre sí a través del flujo de alimentación hacia adelante (entregas) y el flujo de información de retroalimentación (pedidos). Algunos autores definen una CS como la configuración de entidades, es decir, proveedores, almacenes, fabricantes, minoristas, etc., que directa o indirectamente satisfacen las solicitudes de los clientes proporcionándoles productos o servicios (Bazan et al., 2015). Como se muestra en la Figura 2.1, estas entidades pertenecen a los diferentes eslabones o niveles de la CS.

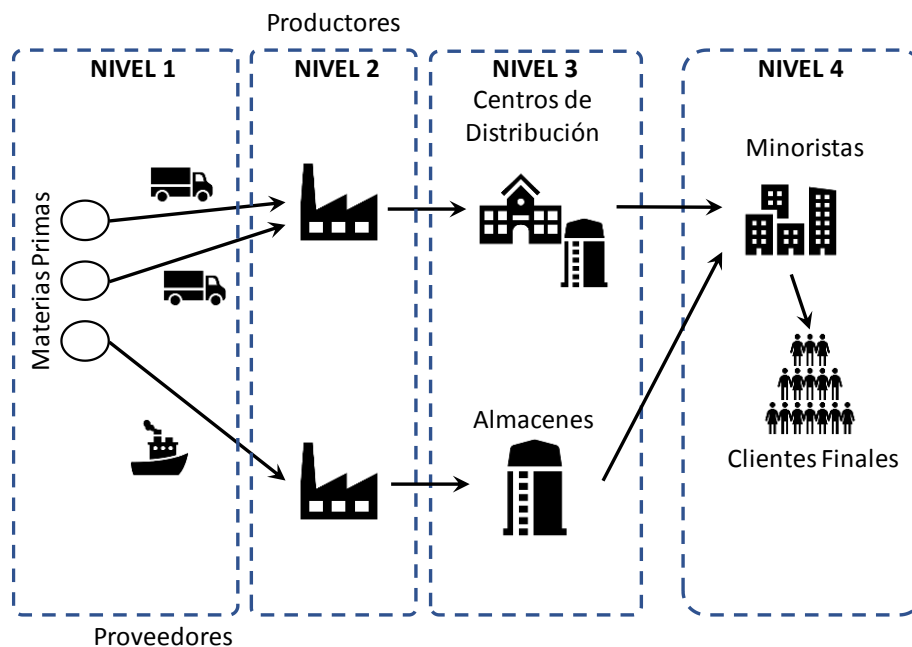


Figura 2.1 Eslabones / niveles principales de una Cadena de Suministro (CS). Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, una CS se puede integrar por una red de empresas que producen, venden y entregan un producto o servicio a un segmento de mercado predeterminado. No solo incluye a los fabricantes y proveedores, sino también a los transportistas, almacenes, minoristas y los propios clientes. En este contexto, el objetivo principal de la Gestión de la Cadena de

Suministro (GCS) es minimizar los costos de todo el sistema mientras se satisfacen los requisitos de nivel de servicio en cada eslabón (Pasandideh et al., 2011). Para ello, todos los miembros de la CS deben trabajar para tener un intercambio de información exitoso, planificación colaborativa y coordinación de sus actividades de producción, inventario y envío (Bazan et al., 2015)

No obstante, la CS tradicional se caracteriza por que cada miembro basa sus órdenes de producción u órdenes de entrega en ventas a su cliente directo, niveles de inventario y objetivos. Por lo tanto, cada eslabón de la CS solo tiene información sobre lo que quieren sus clientes inmediatos y no sobre lo que quiere el cliente final. Esto no permite que los proveedores obtengan información de lo que requieren sus clientes finales (Kaipia & Tanskanen, 2003).

De esta manera, un problema que todos los miembros en los eslabones de una CS (como minoristas, distribuidores, fabricantes, proveedores de materias primas) deben resolver es "cuánto, cómo y cuándo ordenar" para satisfacer las necesidades de los clientes finales de la CS y a través de la misma. Para ello, es necesario un flujo de información eficiente a lo largo de toda la CS, incluyendo los procesos de control de producción y de inventario (Disney & Towill, 2003).

Las tecnologías de la información permiten una integración más estrecha de las empresas en la CS y dan soporte al llamado esquema VMI. La capacidad de suavizar la oferta y la demanda y, por lo tanto, reducir la posibilidad de excedentes o escasez de inventario se ha sugerido como un beneficio clave de sistemas como VMI. Esto implica también una respuesta rápida y eficiente a las necesidades del consumidor mediante la optimización global de la CS.

Por ello, la comunicación eficaz y eficiente de la información a lo largo de los eslabones de la CS es muy importante para evitar problemas como el efecto látigo, donde pequeños cambios en la demanda de los consumidores conducen a cambios drásticos en los proveedores (el inventario se acumula a lo largo de la CS en un patrón de retraso, distorsión y amplificación, mientras que la disponibilidad del producto cae en picada). Para superar este

tipo de problemas, han surgido varias aplicaciones importantes que incluyen pedidos directos al consumidor, pedidos automatizados, inventario administrado por el proveedor (VMI) y administración de inventario.

La tecnología de la información y la comunicación han permitido estas aplicaciones. Por otro lado, se ha expresado un gran interés en que un proveedor haga uso de la información de demanda de los niveles siguientes de la CS para coordinar los reabastecimientos a los clientes en la industria. Aquí, el reabastecimiento coordinado es la práctica mediante la cual el proveedor toma las decisiones de reabastecimiento de tiempo y cantidad para los minoristas, basado en la información de ventas y demanda proporcionada por los minoristas. Otro uso de la información que puede beneficiar directamente a los minoristas es la capacidad de reequilibrar las existencias de los minoristas a través de reabastecimientos del proveedor (Cheung & Lee, 2002). Estas son las bases de la estrategia VMI.

La literatura científica ha contribuido a estos procesos con modelos y algoritmos que optimizan partes de la CS con respecto a los modelos tradicionales. Esto incluye la coordinación de la gestión del transporte y el control de inventario. Sin embargo, sigue habiendo una escasez de literatura en cuanto a la optimización de eslabones coordinados de la CS (Archetti et al., 2007).

2.1.1 Cadena de Suministro de Dos Eslabones

De acuerdo a Solano-Payares et al. (2020) la mayoría de los diseños se basan en supuestos sobre eslabones y nodos. Los eslabones son la representación del flujo de mercancías entre diferentes puntos de la cadena (minoristas, fabricantes, distribuidores, proveedores, mayoristas, etc.). Por otro lado, los nodos se definen como el número de agentes que realizan las mismas funciones logísticas en un eslabón dado, es decir, representan formas alternativas del flujo de mercancías en la cadena.

Por lo tanto, una cadena de dos eslabones en la que el vendedor proporciona múltiples compradores, Solano Payares et al. (2020) lo define como una cadena de dos eslabones que consta de uno a varios nodos. De manera similar, si varios vendedores proporcionan un

comprador, se puede definir como una cadena de dos eslabones desde múltiples nodos hasta un solo nodo.

La estructura utilizada en este trabajo es una cadena de dos eslabones que corresponde a una estructura de un nodo a varios nodos (un proveedor surte a varios compradores)

2.1.2 Las Cadenas de Suministro en el Sector Salud

Se han producido cambios en el área de la salud debido al aumento de los costos de atención médica, la competencia intensa, los requisitos y regulaciones complejos. Esta situación ha acelerado que las CS de atención médica estén más impulsadas por la demanda, aumentando la colaboración entre ellos, involucrandose en el suministro e implementando más y mejores estándares (Rossetti et al., 2012).

Como lo describe Kim (2005) una CS en el sector salud es una red de cadena de valor compuesta por proveedores de materias primas, fabricantes (compañías farmacéuticas), distribuidores (mayoristas de medicamentos), minoristas (hospitales) y consumidores (pacientes). Al implementar alguna estrategia de GCS, los procesos de manejo de materiales se pueden optimizar al integrar los elementos de la cadena, administrar los flujos de materiales, información y fondos de manera integrada.

Las CS hospitalarias difieren de las CS de fabricación y venta al por menor en muchos aspectos (De Vries, 2011; Chen et al., 2015). Si bien el fabricante puede buscar optimizar el valor económico agregado en la CS, el objetivo principal del hospital es brindar valor clínico agregado (McKone-Sweet et al., 2005; Gehmlich, 2008). Como resultado, los proveedores de atención médica se esfuerzan por garantizar que los recursos médicos estén disponibles cuando se necesiten. La forma más fácil de garantizar la disponibilidad del inventario es mantenerlo alto, pero, por supuesto, esto puede llevar a que una gran parte del presupuesto disponible se vincule al inventario (De Vries, 2011). Además, el medicamento puede tener una fecha de caducidad antes de su uso.

La demanda de productos en un hospital puede ser volátil debido a aumentos impredecibles. La condición de un paciente, incluido el estado físico, mental, la tolerancia a la medicación, la respuesta del paciente a la medicación y los problemas de cumplimiento, afectan la demanda del producto (Gehmlich, 2008; Vila-Parrish et al., 2008). De Vries (2011) señala que el sistema de inventario de salud está influenciado por muchas partes interesadas. Los pacientes en el hospital no pueden elegir los productos por sí mismos. Esto requiere que los médicos tomen decisiones de selección de productos apropiadas según la condición del paciente y las preferencias clínicas (Burns, 2002; Chen et al., 2015).

Según Mustaffa & Potter (2009), en la industria farmacéutica la CS de medicamentos es importante para garantizar un alto nivel de atención al paciente y asegurar que las farmacias estén adecuadamente abastecidas de medicamentos. En cuanto a los costos de adquisición, se estima que representan del 25 al 30% de los costos operativos de un hospital (Roark, 2005). Por lo tanto, es muy importante administrarlo de manera efectiva para garantizar que se cumplan sus objetivos de costo y servicio.

La fabricación primaria en una CS farmacéutica esta descrita como la producción de un ingrediente activo contenido en un medicamento. Debido a la necesidad de evitar la contaminación entre productos durante la producción, hay un largo tiempo de limpieza que conduce a la producción por lotes (Shah & Goh, 2006). En la producción secundaria, el ingrediente activo se convierte en productos de consumo (como tabletas, cápsulas, etc.). Esto puede conducir a un aumento significativo en la cantidad de líneas de productos, especialmente cuando se incluye el empaque. A medida que la industria farmacéutica continúa globalizándose, la ubicación de las instalaciones de fabricación a menudo depende de factores como los incentivos fiscales (Papageorgiou et al., 2001).

2.2 Inventario Administrado por el Proveedor

Uno de los conceptos bien conocidos utilizados en las CS es el modelo de inventario administrado por el proveedor (VMI) y muchas empresas exitosas han demostrado los beneficios de VMI, por ejemplo, Wal-Mart y JC Penney (Cetinkaya et al., 2009; Dong & Xu, 2002). En estos modelos, el minorista proporciona al proveedor información sobre sus ventas

y nivel de inventario y el proveedor determina la cantidad de reabastecimiento en cada período en función de esta información. En otras palabras, el proveedor con respecto a su propio costo de inventario que es igual al costo total de inventario de la CS determina el tiempo y la cantidad de reabastecimiento en cada ciclo (Dong & Xu, 2002; Kaipia & Tanskanen, 2003; Seifbarghy & Gilkalayeh, 2012). No solo VMI tiene algunas ventajas tanto para el minorista como para el proveedor, sino que también los niveles de servicio al cliente pueden aumentar en términos de confiabilidad de la disponibilidad del producto. Dado que el proveedor puede utilizar la información recopilada sobre los niveles de inventario en los minoristas, las demandas futuras se anticipan mejor y las entregas se coordinan mejor (por ejemplo, retrasando y adelantando las entregas de acuerdo con las situaciones de inventario en los minoristas y las consideraciones de transporte) (Kleywegt et al., 2002; Waller et al., 1999).

En contraste con la gestión de inventario tradicional, el concepto fundamental en VMI es transferir la responsabilidad de la toma de decisiones del cliente al proveedor o vendedor, mediante el cual se pueden administrar las CS y, debido a la toma de decisiones centralizada y el intercambio constante de información, los beneficios son mucho mayores que en el caso de la CS tradicional. Para ayudar al proveedor a hacerlo, el cliente debe compartir o hacer visible la información de la demanda al proveedor (Govindan, 2013).

Muchos investigadores se centran en los beneficios que se podrían lograr con un sistema VMI en comparación con una CS tradicional. Una CS tradicional se refiere a un sistema dentro del cual cada eslabón toma sus propias decisiones en función de sus ganancias sin considerar el impacto en los demás miembros. Además, no se comparte información entre los miembros, lo que significa que los demás participantes reciben señales incorrectas.

De acuerdo a Achabal et al. (2000), VMI ofrece los siguientes beneficios.

- Para el minorista: Gestión de inventario más eficiente, rentable, con menos incertidumbre con respecto a la rotación de inventario y los niveles de servicio al cliente. El sistema VMI proporciona una forma de establecer y lograr objetivos de desempeño y hacer una previsión de ventas y gestión de inventario.

- Para el vendedor: VMI proporciona un método para que el proveedor aumente la disponibilidad de su marca en las tiendas, en relación con las marcas de la competencia, y cumpla con las restricciones de presupuesto

En muchos casos, los compradores de los minoristas han descubierto que los pronósticos del sistema VMI son más precisos que los suyos y ahora confían en estos pronósticos para la planificación de mercancías. Uno de los principales objetivos del proveedor en este sistema VMI es aumentar el nivel de servicio al cliente a través de mejores pronósticos y un uso más efectivo del inventario.

En particular, el sistema VMI tiene el objetivo que el proveedor de una mejor disponibilidad del producto, tanto en términos de la amplitud de la línea de productos del proveedor ofrecida por los minoristas como en los niveles de servicio al cliente que se lograron, incluso con el surtido más amplio. Al mismo tiempo, los minoristas reciben mejores pronósticos de ventas y un manejo de inventario más efectivo. El objetivo fundamental de las cadenas con VMI, es minimizar el costo del canal y al mismo tiempo satisfacer el servicio al cliente y se logra principalmente compartiendo información sobre la demanda y el inventario (Pasandideh et al., 2011)

El principal impedimento de la implementación de VMI es que el minorista tiene mayores beneficios que el proveedor. En una colaboración de VMI, el proveedor asumirá la responsabilidad del inventario y decidirá cuánto inventario debe mantener. El poder de decisión le da al vendedor la responsabilidad de asumir el costo con los riesgos de desabastecimiento o sobreinventario. Este concepto es uno de los que preocupan a los proveedores y representa una de las principales razones por las que evitan formar una asociación de este tipo. Mishra & Raghunathan (2004), Zavanella & Zanoni (2009), Yao et al. (2007), y Pasandideh et al. (2011) identificaron que los costos de un proveedor aumentan, mientras que un minorista disfruta de los beneficios en una relación VMI.

Lee & Chu (2005) observaron que un proveedor se beneficiará de una asociación VMI solo cuando el inventario mantenido por el minorista es menor que el inventario mantenido bajo un VMI. Mishra & Raghunathan (2004) discutieron la competencia entre proveedores con

productos similares y demostraron cómo esta situación beneficia a un minorista bajo un sistema VMI, para un solo minorista y dos proveedores con productos sustitutos.

El sistema VMI es ventajoso para el minorista, ya que transfiere los costos de mantenimiento de inventario al fabricante y, debido a la competencia en cantidad entre productos similares, el minorista reducirá sus costos de escasez y, por lo tanto, aumentará sus ganancias. Bajo un sistema VMI, el fabricante aumenta los niveles de existencias para evitar roturas y asume todos los riesgos mientras que el minorista disfruta de mayores ganancias. El único incentivo del fabricante para entablar una relación de este tipo sería el acceso a datos precisos de la demanda de los minoristas.

Yao et al. (2007) identificaron que bajo VMI, se reponen cantidades más pequeñas para reducir los niveles de inventario y el proveedor tiene menos beneficios que el minorista. En la misma dirección, Pasandideh et al. (2011) reconocieron que un sistema VMI brindará beneficios solo cuando el costo de pedido de un proveedor sea mayor que los costos de pedido de un comprador multiplicados por el costo de mantenimiento de inventario por unidad y el costo de escasez por unidad.

2.2.1 Condiciones de Aplicación

Bajo VMI, el comprador brinda acceso directo a la información sobre la demanda del cliente final y los niveles de inventario actual al proveedor, que utiliza esta información para administrar las cantidades de pedido de manera óptima. El flujo de órdenes de compra se elimina por completo y los detalles de la demanda se vuelven transparentes para el proveedor, lo que reduce la incertidumbre en la planificación de su producción.

Para ello, deben existir condiciones en la industria tales como:

- Empresa
 - Crecimiento estable
 - Buen sistema de información y comunicación.
 - Voluntad de compartir información.
 - Comprar no es una competencia básica

- Producto
 - Productos estandarizados
 - Productos repetitivos
 - Variación de demanda baja
 - Se pronostica la demanda y se monitorean los niveles de existencias
- Proveedor
 - Confianza en la CS/relaciones a largo plazo
 - Ventajas evidentes tanto para el proveedor como para el cliente
 - Los proveedores clave constituyen un alto porcentaje de las órdenes de compra
 - Los proveedores están dispuestos a cooperar
 - Sistema de información integrado

2.2.2 Importancia para el Sector Salud

Dados los beneficios de VMI, incluida la mejora del rendimiento, la reducción de costos y una mayor satisfacción del cliente, el enfoque llamó la atención de las compañías farmacéuticas, los distribuidores médicos y farmacéuticos y los proveedores de atención médica, incluidos los hospitales (Haavik, 2000).

Haavik (2000) evaluó la implementación de VMI en hospitales de EE. UU. y mostró que el uso óptimo de VMI requiere que los hospitales mejoren la recopilación de datos y colaboren con los proveedores para construir sistemas de comunicación electrónica. Mustaffa & Potter (2009) se centran en la CS de atención médica en Malasia. Argumentan que, debido a las limitaciones de transporte en los países en desarrollo, VMI podría ser una solución adecuada para el sector de la salud en comparación con los otros dos enfoques de colaboración. Turhan & Vayvay (2010) utilizan una arquitectura orientada a servicios para modelar una implementación de VMI en un hospital. El sistema muestra cómo el intercambio de información y la reorganización empresarial contribuyen a los ahorros de costos logrados con VMI.

Por lo tanto, VMI puede generar beneficios que incluyen menos administración en el hospital, menos errores, mayor confiabilidad de la información y una reducción del 30.0% en el inventario.

2.3 Modelos de Control de Inventarios

Como lo menciona Arango-Serna (2011) el estudio de abastecimiento y control de los inventarios se encuentra en constante evolución, la cual es atendida por los investigadores mediante el planteamiento de nuevos modelos para determinar el tamaño de lote económico de pedido que satisfaga las necesidades del cliente y el proveedor, ayudando a la toma de decisiones coordinadas para la gestión de los inventarios. Sin embargo, como en cualquier otra área de investigación, se requieren diferentes propuestas de modelos, por lo que se requiere la investigación de otros autores para poder innovar y mejorar lo anteriormente estudiado.

A lo largo de los años, se han publicado diversos artículos y libros que presentan modelos para de control de inventarios bajo diversas condiciones y supuestos (Pentico et al., 2009). Los modelos para determinar el tamaño de lote económico se han estudiado extensamente desde que Harris (1913) presentó por primera vez la famosa fórmula de cantidad económica de pedido (*Economic Order Quantity*, EOQ). Luego, se desarrolló una variación de esta fórmula, a saber, la cantidad económica de producción (*Economic Production Quantity*, EPQ), para entornos de fabricación. Gran parte de la literatura sobre teoría de inventarios contiene los modelos básicos de EOQ y EPQ con/sin escasez (Cardenas-Barron, 2001).

La cantidad económica de pedido (EOQ) es uno de los modelos de optimización más populares y exitosos en la GCS, debido a su simplicidad de uso y de concepto (Teng et al., 2019). Este modelo determina el tamaño de lote que minimice dos costos principales asociados al manejo de inventarios: costos totales por mantener inventario, y costos totales por ordenar inventario (Jaber & Zolfaghari, 2008; Glock et al., 2012). La Figura 2.2 muestra los detalles del modelo EOQ.

Q = Cantidad Económica de Pedido
RP = Punto de Reorden
L = Tiempo de Entrega (días)
SS = Inventario de Seguridad

D = Demanda total acumulada a lo largo del Horizonte de Planeación
d = Promedio de demanda diaria
 σ = Desviación estándar de la demanda diaria
Z = Número de desviaciones estándar asociadas a un nivel de servicio requerido.
 C_o = Costo por ordenar un lote de tamaño Q
 C_h = Costo por mantener una unidad de producto en inventario.

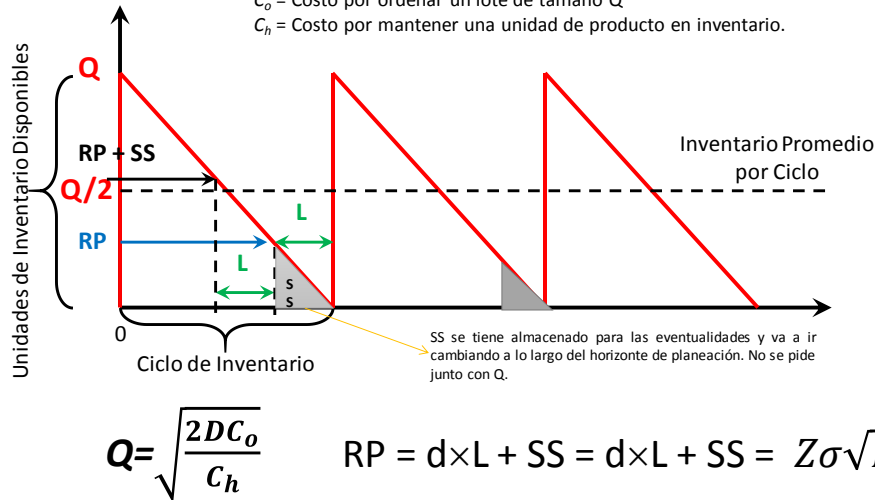


Figura 2.2 Fundamentos del modelo EOQ con demanda determinística. Fuente: Elaboración Propia.

Incorporar este tipo de modelos es crucial para VMI dado que el intercambio de información a través de la CS involucra los niveles de inventario, los costos de su almacenamiento y su rentabilidad en general (Jiang-hua & Xin, 2007). La cantidad económica de pedido también influye en la frecuencia de reabastecimiento y el costo de mantenimiento de inventario (Yao et al., 2007).

2.4 Métodos Cuantitativos para Solución de Modelos VMI

Las técnicas de solución son fundamentales en la implementación de VMI debido a que hay que generar un modelo matemático y estratégico que se adapte a la política de abastecimiento de la empresa y de la CS. Esto se vuelve una tarea compleja dadas las distintas variables y factores asociados al abastecimiento y control de inventarios bajo VMI (Marques et al., 2010; Seyyed-Amir et al., 2020).

En la Tabla 2.1 se presenta un compendio de trabajos de investigación asociados con VMI y las utilizadas para su implementación. Como se puede observar, las metodologías más usadas están relacionadas a algoritmos de búsqueda local (por ejemplo, meta-heurísticas), modelos matemáticos y la aplicación de teoría de juegos para poder aplicar VMI.

Tabla 2.1 Tipos de técnicas en la aplicación de VMI. Fuente: Elaboración propia

Trabajo	Referencia	Técnica
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	Gharaei et al. (2019)	Modelación Matemática Programación No-lineal con Variables Binarias.
Effects of carbon emission reduction on supply chain coordination with vendor-managed deteriorating product inventory	Bai et al. (2019)	Modelación Matemática Teoría de Juegos. Stackelberg
Vendor management inventory with consignment contracts and the benefits of cooperative advertising	De Giovanni et al. (2019)	Modelación Matemática Teoría de juegos. Juegos Dinámicos
Supply chain models with greenhouse gases emissions, energy usage, imperfect process under different coordination decisions.	Marchi et al. (2019)	Modelación Matemática Algoritmo de Búsqueda Local
Solving a large multi-product production-routing problem with delivery time windows	Neves-Moreira et al. (2019)	Modelación Matemática Programación Entera Mixta
A consignment stock scheme for closed loop supply chain with imperfect manufacturing processes, lost sales, and quality dependent return: Multi Levels Structure	Taleizadeh & Moshtagh (2019)	Modelación Matemática Algoritmos de Búsqueda Local
The two-echelon multi-depot inventory-routing problem	Guimaraes, et al. (2019)	Modelación Matemática Algoritmo Híbrido de Búsqueda Local
Agri-food supply chains with stochastic demands: A multi-period inventory routing problem with perishable products	Onggo et al. (2019)	Modelación Matemática Programación Entera Mixta Algoritmo de Búsqueda Local
Impacts of two-stage deterioration on an integrated inventory model under trade credit and variable capacity utilization	Lin et al. (2019)	Modelación Matemática Algoritmo de Búsqueda Local
Optimal integration of line facility location problem into the multi-project multi-supplier multi-resource construction supply chain network design under the vendor managed inventory strategy.	Golpira (2020)	Programación Lineal Entera Mixta

La aplicación de teoría de juegos es interesante bajo el contexto de miembros de la CS que deben colaborar entre sí para lograr un objetivo común. Cachon & Netessine (2006) menciona que VMI implica coordinación entre los actores de una CS. Sin embargo, los actores de la CS son, en cualquier caso, agentes que tienen diferentes objetivos comerciales. Por tal razón, el estudio de las interacciones estratégicas en las CS también ha sido un

contexto apropiado para la aplicación de enfoques de teoría de juegos. Otros autores como Babu & Mohan (2017) y Tao et al. (2019) han corroborado las ventajas de esta técnica en VMI.

2.4.1 Optimización de Enjambre de Partículas

Kennedy & Eberhart (1995) introdujeron la Optimización de Enjambre de Partículas (*Particle Swarm Optimization*, PSO) como un algoritmo de búsqueda basado en la población. PSO está motivado por la simulación del comportamiento social de las bandadas de aves y utiliza una población de partículas que vuelan a través del espacio de búsqueda para alcanzar un óptimo. Esta técnica tiene dos ingredientes principales, la dinámica de partículas y el intercambio de información de partículas. La dinámica de partículas se deriva de simulaciones de enjambre en gráficos por computadora, y el componente de intercambio de información está inspirado en las redes sociales. Estos ingredientes se combinan para hacer de PSO un optimizador robusto y eficiente de funciones objetivas de valor real (aunque PSO también se ha aplicado con éxito a problemas combinatorios y discretos). PSO se acepta como una técnica inteligente computacional.

La principal diferencia entre PSO y otras heurísticas bien conocidas como Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms*, GA) y Recocido Simulado (*Simulated Annealing*, SA) es que los miembros de la población conocen la situación de los otros miembros o al menos del mejor miembro y consideran la información obtenida en su toma de decisiones. Dado que los miembros pueden recordar su mejor situación durante las operaciones del algoritmo y siempre tratan de incluir esto en su toma de decisiones, pueden compensar de inmediato en caso de una mala toma de decisiones. Cada miembro puede buscar el límite vecino correspondiente sin preocuparse por empeorar la situación. El grado de influencia de otros miembros de la población está determinado por un coeficiente denominado coeficiente de aprendizaje.

Una variante de PSO es el conocido como PSO Co-evolutivo (CPSO), el cual utiliza dos procesos simultáneos (dos enjambres: externo e interno) para lograr la solución óptima. Primero se genera una población aleatoria inicial utilizando los límites superior e inferior.

Luego, el enjambre externo toma un cierto valor de un intervalo y el algoritmo comienza con la población inicial generada. Después de eso, el valor inicial se coloca en el valor de la función objetivo y las restricciones, y genera una solución inicial. El valor de esta solución inicial se investiga de manera óptima por el enjambre interno y, en ausencia de optimización, se genera un nuevo valor utilizando la actualización de velocidad y posición en el algoritmo PSO. Este ciclo continúa hasta que se cumple la condición de paro del problema. Finalmente, la respuesta se almacena dentro del enjambre inicial. En el siguiente paso, el valor del enjambre externo se incrementa una unidad y el proceso descrito continúa utilizando un enjambre nuevo. En este proceso, el algoritmo intenta no solo encontrar la solución óptima sino también vincular las restricciones del problema (He & Wang, 2007).

2.4.2 Algoritmo Genético

En ciencias de la computación e investigación de operaciones, un Algoritmo Genético (AG) es un meta-heurístico inspirado en el proceso de selección natural. Estos algoritmos se utilizan comúnmente para generar soluciones de alta calidad para problemas de optimización y búsqueda basándose en operadores bioinspirados como mutación, cruce y selección (Mitchell, 1998; Sadeghi et al., 2016). El algoritmo modifica repetidamente una población de soluciones individuales. En cada paso, el AG selecciona aleatoriamente individuos de la población actual y los utiliza como padres para producir los hijos de la próxima generación. Durante generaciones sucesivas, la población "evoluciona" hacia una solución óptima (Goldberg & Holland, 1988; Hajiaghaei-Keshteli & Fathollahi-Fard, 2018).

PSO es muy similar a un GA lo cual se debe al hecho de que ambos tienen valores de aptitud para evaluar la población, buscan en el espacio de soluciones soluciones factibles y óptimas y actualizan las poblaciones. Un enjambre en PSO es muy similar a la población en la analogía de los sistemas de computación evolutivos como el AG. La partícula, por otro lado, es el individuo. Ambos no garantizan el éxito. Sin embargo, PSO no tiene operaciones de evolución como cruce y mutación.

2.4.3 Teoría de Juegos

Tao et al. (2019) investigan la aplicación de la estrategia de Stackelberg en donde los jugadores son un líder y un seguidor y compiten por cantidades. El jugador líder a veces se conoce como el líder del mercado. De esta manera, se analiza el impacto de la inexactitud de inventario y la tasa de costo compartido del canal sobre la preferencia de quién debe llevar a cabo la gestión de inventario en la CS que consiste en un proveedor y un minorista bajo contrato de envío. Cuando el minorista es el líder en la CS, tiene el incentivo de actuar como seguidor para tomar decisiones en el segundo paso y obligar al proveedor a estar a cargo de la administración del inventario y a tomar decisiones. Por otro lado, cuando el proveedor es el líder en la CS, hay un valor umbral de disponibilidad de inventario (o la tasa de costo compartido del canal) de modo que sólo si el inventario disponible es mayor (o menor) que el umbral valor, al proveedor puede asumir la responsabilidad de la gestión de inventario y tomar primero las decisiones.

Stellingwerf et al. (2019) desarrollaron un método para asignar los beneficios de los costos y las emisiones de acuerdo con las contribuciones de los socios cooperantes sobre VMI entre cadenas de supermercados holandeses. Los resultados del estudio de caso mostraron una compensación entre costos y emisiones, y múltiples soluciones cooperativas alternativas. En la práctica, esos socios pueden optar por continuar organizando individualmente su logística o cooperar con socios fuera del grupo. En este estudio, el valor de Shapley se usa para asignar beneficios basados tanto en los costos como en las emisiones de CO₂. También se menciona al uso de otras metodologías como, por ejemplo, el Método de Igualdad de Beneficios (Frisk et al., 2010) y aquellos descritos por Kellner & Otto (2012) para casos con más socios cooperantes.

Por otra parte, Golmohammadi et al. (2016) aplican el enfoque de Stackelberg y el punto de equilibrio correspondiente para formular y analizar una CS con VMI de dos niveles. Proponen como futuras investigaciones diseñar diferentes contratos adecuados entre los elementos de la CS y los socios VMI, a fin de mejorar el rendimiento del sistema descentralizado.

Finalmente, el campo de la simulación a través del modelado de eventos discretos se ha utilizado para evaluar los beneficios de VMI con datos de demanda reales. Un estudio realizado por Southard & Swenseth (2008) aumentó la frecuencia de entrega y mostró una reducción de los costos de inventario, envío y falta de existencias, así como una mejora en la CS.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo contribuye con el desarrollo de un sistema VMI para CS farmacéuticas de dos niveles. El modelo VMI propuesto considera un aspecto clave que no ha sido abordado por trabajos previos y está asociado con riesgos de desabastecimiento y obsolescencia en la práctica: la variabilidad de la demanda (es decir, demanda no determinista o incierta). Este aspecto está integrado dentro de la función de beneficio de la CS de dos escalones para determinar el tamaño de lote económico necesario para reducir los costos de gestión de inventario y los riesgos de falta de existencias.

Debido a la complejidad de la función de beneficio, se desarrolló un algoritmo microgenético (μ GA) para resolverlo casi de forma óptima y determinar el tamaño del lote que maximiza los beneficios y minimiza los riesgos de falta de existencias. Finalmente, mediante simulación por computadora, se probó el modelo VMI, demostrando que es más eficiente para reducir los eventos de desabastecimiento que aquellos que utilizan patrones de demanda constantes (es decir, deterministas). Esta prueba está frecuentemente ausente de otros trabajos en el campo. A continuación, se describen las etapas de desarrollo del presente trabajo.

3.1 Modelo VMI de Referencia

Diabat (2014) presentó un modelo matemático de utilidades que integraba los costos de precio-demanda y control de inventario para una CS de dos escalones con un sistema VMI. Este modelo considera las variables y formulaciones matemáticas descritas en la Tabla 3.1.

Este modelo se basó en los trabajos realizados por Nachiappan & Jawahar (2007) y Sue-Ann et al. (2012), y ha sido ampliado por Seifbarghy et al. (2016) y Salehi-Amiri et al. (2020). Por lo tanto, es un modelo establecido dentro de la literatura VMI.

Tabla 3.1 Notación y formulación matemática del modelo base de beneficios de dos escalones VMI. Fuente: (Diabat, 2014).

Variable	Descripción
a_j	Valor de intersección de la curva de costo-demanda del j -th minorista
b_j	Pendiente negativa de la curva de costo-demanda del minorista j -th
y_j	Variable de decisión = cantidad de ventas anuales del j -th minorista
δ	Costo de producción por unidad
θ_j	Costo de flujo por unidad desde el proveedor hasta el minorista j -th
H_s	Costo unitario anual de tenencia del proveedor en modo independiente
H_{bj}	Costo de tenencia unitario anual del minorista j -th en modo independiente
S_s	Costo de instalación del proveedor por pedido en modo independiente
S_{bj}	Costo de instalación del minorista j -th por pedido en modo independiente
y_{jmin}	Cantidad mínima esperada de ventas del j -th minorista
y_{jmax}	Cantidad máxima de ventas esperada del minorista j -th
C	Capacidad del vendedor
H	Costos totales de gestión de inventario = $H = \sqrt{2y_j(H_s + H_{bj})(S_s + S_{bj})}$
Formulación matemática de beneficios	
$P_c = \text{Maximizar} \sum_{j=1}^N \{a_j y_j - b_j y_j^2 - \delta y_j - 0.5 \theta_j y_j^2 - H\}$	
Sujeto a : $y_{jmin} < y_j < y_{jmax}$, $\sum_{j=1}^N y_j \leq C$, $y_j \geq 0$	

3.2 Modelo VMI Extendido Propuesto

El modelo descrito en la Tabla 3.1, que ha sido estudiado por otros trabajos como (Seifbarghy et al., 2016; Salehi-Amiri et al., 2020) considera patrones de demanda deterministas dentro de los costos de gestión de inventarios de la formulación matemática de ganancias. Esto puede comprometer la estimación del tamaño económico del lote, definido por la variable de decisión y_j , en presencia de patrones de demanda variables (no deterministas).

Para superar este aspecto, se considera la integración de un modelo de control de inventarios para la demanda no determinista. Dado que la reducción del riesgo de desabastecimiento es imperativa dentro de la industria farmacéutica, se requiere un seguimiento frecuente de los niveles de inventario. Para este caso se consideró el modelo de control de inventario de Revisión Continua o (Q,R) para demanda no determinista (LINDO Systems Inc., 2021;

Caballero-Morales, 2020). En términos generales, este modelo considera las variables y formulaciones matemáticas descritas en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Notación y formulación matemática del modelo de control de inventarios (Q, R) con demanda no determinista. Fuente: (LINDO Systems Inc., 2021; Caballero-Morales, 2020).

Variable	Descripción
D	Demanda acumulada a través de un horizonte de planeación
p	Costo de una unidad de producto no entregada a un cliente o minorista (costo unitario por falta de existencias)
n	Número esperado de unidades no entregadas a un cliente o minorista (número de unidades agotadas) y se estima por $n = \sigma_{LT}L(z)$,
μ_{LT}	Demanda media durante todo el tiempo de entrega ($\mu_{LT} = d \times LT$)
σ_{LT}	Desviación estándar de la demanda a lo largo del tiempo de entrega ($\sigma_{LT} = \sigma\sqrt{LT}$)
$L(z)$	Probabilidad dada por la función de pérdida asociada a las unidades desabastecidas
d	Demanda media diaria
σ	Desviación estándar de la demanda diaria
Q	variable de decisión = tamaño de lote óptimo (cantidad de lote económica) para entregar al minorista
R	punto de pedido = nivel de inventario que desencadena el proceso de pedido de un lote de tamaño Q ($R = \mu_{LT} + z\sigma_{LT}$)
C_o	coste de pedido asociado a un lote de tamaño Q
C_h	costo de mantenimiento asociado a una unidad almacenada de producto dentro del inventario
LT	lead time (tiempo de entrega al proveedor)
Formulación matemática del tamaño del lote	
$Q = \sqrt{\frac{2D(C_o + pn)}{C_h}}$	
Costo Total de Gestión de Inventario - Formulación matemática	
$TC = \left(\frac{D}{Q}\right) C_o + \left(\frac{Q}{2}\right) C_h + C_h[R - \mu_{LT} + \sigma_{LT}L(z)] + pn\left(\frac{D}{Q}\right)$	

Para integrar el modelo extendido, se realiza una estandarización de términos entre las formulaciones matemáticas de costos de gestión de inventario y variables de decisión. Primero, el tamaño económico del lote bajo el modelo (Q, R) se estandariza de la siguiente manera (en este punto, S_{bj} y H_{bj} se generalizan como S_b y H_b respectivamente):

$$Q = \sqrt{\frac{2D(C_o+pn)}{c_h}} = \sqrt{\frac{2y(S_s+S_b+pn)}{H_s+H_b}} \quad (3.1)$$

En segundo lugar, la expresión de H (ver Tabla 3.1) se extiende por el modelo descrito por (3.1). Tal como lo describen (Nachiappan & Jawahar, 2007; Sue-Ann et al., 2012; Diabat, 2014) H representa los costos totales asociados a la gestión de inventarios, que bajo el modelo (Q, R) son descritos por TC (ver Tabla 3.2). Por lo tanto, la expresión equivalente para H se obtiene reemplazando las expresiones actualizadas de Q y R en TC de la siguiente manera:

$$H = \left(\frac{y}{\sqrt{\frac{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}{H_s+H_b}}} \right) (S_s + S_b) + \left(\frac{H_s+H_b}{2} \right) \sqrt{\frac{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}{H_s+H_b}} + (H_s + H_b)[z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)] + p\sigma_{LT}L(z) \left(\frac{y}{\sqrt{\frac{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}{H_s+H_b}}} \right), \quad (3.2)$$

$$H = \left(\frac{y}{\sqrt{\frac{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}{H_s+H_b}}} \right) (S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z)) + \left(\frac{H_s+H_b}{2} \right) \sqrt{\frac{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}{H_s+H_b}} + (H_s + H_b)[z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)], \quad (3.3)$$

$$H = \left(\frac{y\sqrt{H_s+H_b}}{\sqrt{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}} \right) (S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z)) + \frac{\sqrt{y(H_s+H_b)(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}}{\sqrt{2}} + (H_s + H_b)[z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)], \quad (3.4)$$

$$H = \left(\frac{\sqrt{y(H_s+H_b)(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}}{\sqrt{2}} \right) + \frac{\sqrt{y(H_s+H_b)(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}}{\sqrt{2}} + (H_s + H_b)[z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)], \quad (3.5)$$

$$H = \sqrt{2y(H_s + H_b)(S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z))} + (H_s + H_b)(z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)). \quad (3.6)$$

En contraste con el modelo base (ver Tabla 3.1), la formulación actualizada para H (3.6) incluye σ_{LT} que proporciona información sobre la variabilidad de la demanda. Para la demanda no determinista, se considera que la variabilidad (medida por la desviación estándar diaria σ) es mayor que una fracción h de la demanda diaria promedio (d). Esto se mide por el Coeficiente de Variabilidad (CV) que se expresa como:

$$CV = \frac{\sigma}{d} \geq h \quad (3.7)$$

En términos de variabilidad de la demanda:

$$\sigma_{LT} = \sigma\sqrt{LT} = hd\sqrt{LT}. \quad (3.8)$$

Finalmente, por motivos de coherencia, y debe incluir los elementos adicionales asociados a la variabilidad de la demanda para reducir el riesgo de desabastecimiento. Esto es equivalente a $y \rightarrow x + z\sigma_{LT}$ donde x es una variable de apoyo que conduce a la siguiente formulación matemática de ganancias actualizada para $j=1, \dots, N$ minoristas (P_c de la Tabla 3.1):

$$P_c = \text{Maximizar } \sum_{j=1}^N \left\{ a_j(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j}) - b_j(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j})^2 - \delta(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j}) - 0.5\theta_j(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j})^2 - \left[\sqrt{2(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j})(H_s + H_{bj})(S_s + S_{bj} + p_jhd_j\sqrt{LT_j}L(z_j))} + (H_s + H_{bj})(z_jhd_j\sqrt{LT_j} + hd_j\sqrt{LT_j}L(z_j)) \right] \right\}, \quad (3.9)$$

Sujeto a:

$$y_{jmin} < x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j} < y_{jmax}, \forall j \quad (3.10)$$

$$\sum_{j=1}^N (x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j}) \leq C, \quad (3.11)$$

$$x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j} \geq 0, \forall j \quad (3.12)$$

3.3 Método de Solución: Algoritmo Microgenético

Determinar los valores de x_j o y_j las cuales maximizan la función de beneficio P_c es una tarea compleja. Debido a esto, los trabajos revisados sobre sistemas VMI para una CS de dos escalones han desarrollado metaheurísticas para determinar estos valores y resolver la función P_c óptima y dentro de un tiempo computacional razonable. Entre estas metaheurísticas se pueden mencionar las siguientes: Algoritmo genético / Recocido simulado, Optimización de enjambre de partículas, Algoritmo genético, Optimización de

enjambre de partículas / Algoritmo genético híbrido + Sistema inmunológico artificial,
 Enjambre de partículas discreto Optimización / Algoritmo Genético.

El presente trabajo considera el desarrollo de una metaheurística basada en Algoritmos Genéticos para resolver la función P_c . A diferencia de los trabajos revisados que consideraron Algoritmos Genéticos, la propuesta se enfoca en una versión ligera y más rápida de esta metaheurística.

La Figura 3.1 presenta la estructura general del algoritmo microgenético (μ AG) desarrollado para resolver P_c . A diferencia de un AG estándar, se espera que un μ AG logre una convergencia más rápida a soluciones casi óptimas al considerar poblaciones más pequeñas y, por lo tanto, menos memoria de almacenamiento (Batres, 2013; Ribas et al., 2013). Tal como se presenta, una solución consiste en el conjunto de valores y_j para los N minoristas de la CS de dos escalones. La valoración de estos valores se realiza mediante su sustitución dentro de la ecuación de P_c . Dentro del μ AG, el valor de P_c se utiliza para medir la aptitud de la solución para la selección y reproducción de nuevas soluciones. La Figura 3.2 presenta los detalles de la codificación cromosómica de la población y la Figura 3.3 presenta los detalles de los operadores de reproducción utilizados para el μ AG.

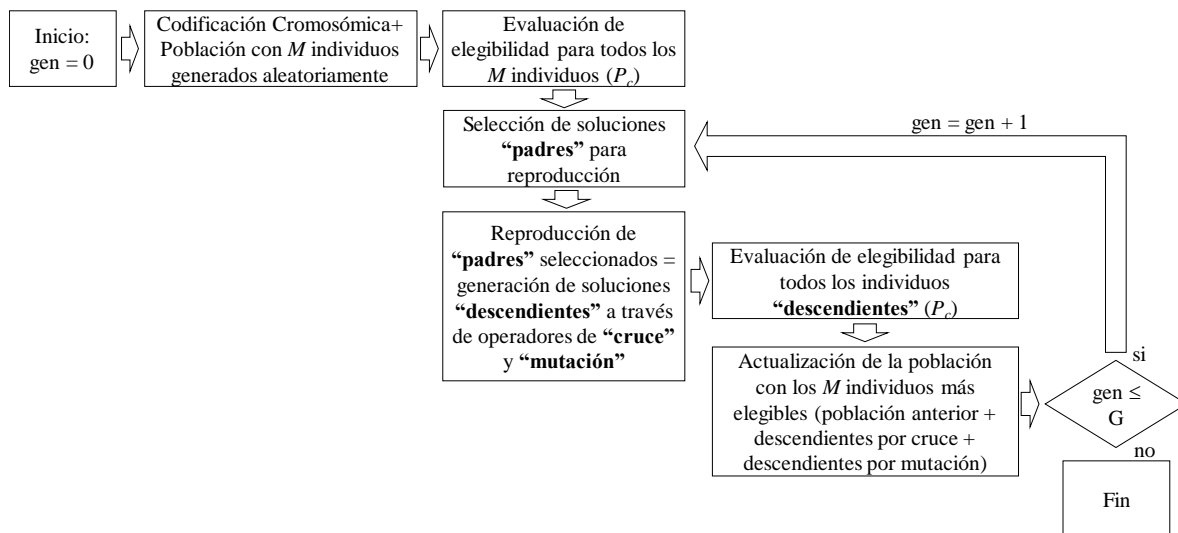
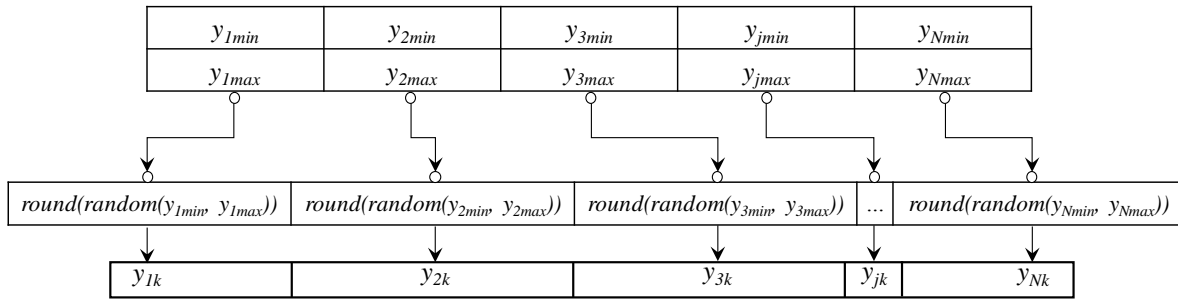


Figura 3.1 Estructura del μ AG desarrollado para resolver el modelo de beneficio para el VMI CS de dos escalones. Fuente: Elaboración Propia.

Codificación cromosómica:

Representación de soluciones (individuos) y generación aleatoria de población inicial



y_{jk} = Cantidad de pedido del minorista j dentro de la solución k (en el μ AG, la población está integrada por M individuos o soluciones, por lo tanto, $k=1, \dots, M$)

Figura 3.2 Codificación cromosómica considerada para generar soluciones iniciales y poblaciones para el μ AG propuesto. Fuente: Elaboración Propia.

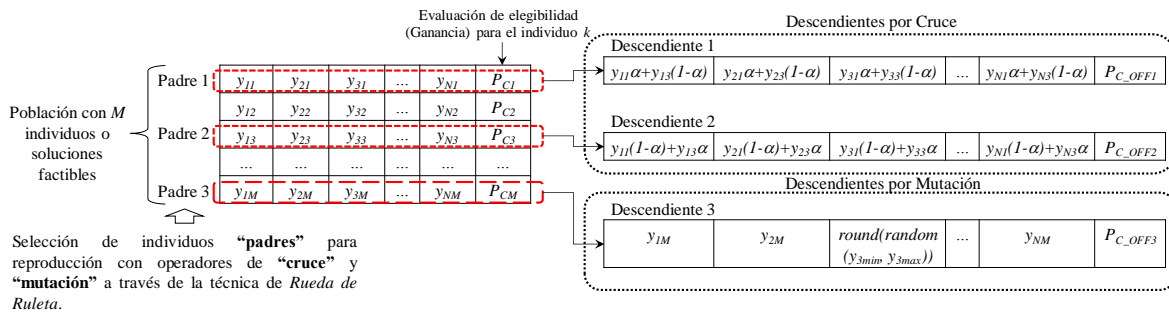


Figura 3.3 Operadores de selección y reproducción considerados para generar nuevas soluciones y poblaciones para el μ AG propuesto. Fuente: Elaboración Propia.

Como se presenta en la Figura 3.2, una solución (individuo) consiste en el conjunto de valores y_j para los N minoristas de la CS de dos escalones. La evaluación de estos valores se realiza mediante su sustitución dentro de la función de beneficio P_c . Dentro del μ AG, el valor de P_c se utiliza para medir la aptitud o elegibilidad de la solución para la selección y reproducción de nuevas soluciones. Inicialmente, se genera aleatoriamente una población con M soluciones (o individuos) considerando los límites definidos por y_{jmin} y y_{jmax} para cada valor de y_j .

Luego, como se presenta en la Figura 3.2, se calcula P_c para cada solución y se realiza la selección de "padres" para crear nuevas soluciones "descendientes". La selección la realiza el operador de la *Rueda de la Ruleta* y la reproducción la realizan los operadores de cruce

lineal y mutación. Una vez que se crean las soluciones "descendientes", se calculan sus respectivos valores de P_c .

Finalmente, la población se actualiza con las mejores M soluciones (aquellas con los valores de P_c más altos) de la población actual y las soluciones descendientes con cruce y mutación. Si se cumple una condición de parada, el proceso finaliza, en caso contrario, los procesos de selección y reproducción continúan con la población actualizada. El μ AG propuesto considera una condición de parada dada por un número fijo de iteraciones o generaciones ($\text{gen} \leq G$).

El μ AG fue codificado en MATLAB 2018a y ejecutado en una Workstation HP con CPU Intel Xeon E3-1240 a 3.40 GHz y 8GB de RAM. Los parámetros de la μ AG fueron los siguientes: probabilidad de cruce (μ) = 0.3, número total de generaciones (G) = 100, tamaño de la población (M) = 20 individuos, número de descendientes de cruce y mutación = $2M/3$ individuos. La evaluación del μ AG propuesta se realizó con los datos presentados en la Tabla 3.3. Estos datos fueron considerados por (Diabat, 2014) para evaluar el modelo base para P_c (ver Tabla 3.1) y se comparó con tres métodos de resolución: LINGO (método exacto), AG estándar y algoritmo híbrido (metaheurísticas).

Tabla 3.3 Datos de prueba para el modelo VMI base y evaluación del μ AG. Fuente: (Diabat, 2014).

Datos relacionados con el minorista			
j	1	2	3
H_{bj}	7	8	9
S_{bj}	10	20	30
a_j	20	19	18
b_j	0.003	0.005	0.008
y_{jmin}	2000	500	500
y_{jmax}	4000	3000	1500
θ_j	0.004	0.006	0.008
Datos relacionados con el proveedor			
H_s	9		
S_s	15		
C	5750		
δ	7		

En la Tabla 3.4 se presentan los resultados de los métodos reportados por (Diabat, 2014), y se adjuntan los resultados del μ AG propuesto para su evaluación. Tal como se presentó, el μ AG superó al AG estándar y al algoritmo híbrido reportado por (Diabat, 2014), logrando resultados casi óptimos (muy cercanos a los obtenidos con LINGO). Por lo tanto, el μ AG puede proporcionar soluciones casi óptimas para el modelo extendido.

Tabla 3.4 Resultados de desempeño del μ AG con los datos de prueba del modelo VMI base.

Fuente: Elaboración Propia.

	y_1	y_2	y_3	P_c
LINGO	2000	710	500	9903.10451482881
AG	2002	673	500	9878.09123480361
Hibrido	2001	675	500	9886.52559290784
μAG	2001	710	501	9893.87177613194

4. RESULTADOS

4.1 Obtención de Resultados Numéricos

Para la evaluación del modelo extendido propuesto para P_c , la Tabla 4.1 presenta el conjunto de parámetros para los patrones de demanda de los minoristas. Tenga en cuenta que se considera una alta variabilidad de la demanda ($CV = h = 0.5$). La Tabla 4.2 presenta los resultados del modelo base (Referencia) y el modelo propuesto con datos de demanda no deterministas.

Tabla 4.1 Datos de prueba de P_c para la CS de dos escalones con los modelos VMI base y extendido. Fuente: Elaboración Propia.

J	1	2	3
d_j	20	25	30
H	0.5	0.5	0.5
LT_j	5	10	15
p_j	8	10	15
z_j	2.17	1.65	2.32
$L(z_j)$	0.005	0.021	0.003

Tabla 4.2 Resultados de P_c para la CS de dos escalones con los modelos VMI base y extendido. Fuente: Elaboración Propia.

	y_1	y_2	y_3	R_1	R_2	R_3	P_c
Referencia	2001	675	501	149	316	585	9886.52
VMI Extendido	2021	710	555	149	316	585	7817.82

Tal como se presenta, P_c es menor para el modelo VMI extendido que para el modelo base. Esto se espera debido a los costos adicionales incluidos en el modelo VMI extendido que se enfoca en reducir el riesgo de desabastecimiento ante la presencia de una demanda no determinista (riesgo no considerado por el modelo base). Los puntos de pedido R_j , que dependen de las demandas promedio y de las variabilidades de la demanda (independientes de los costos), son los mismos para ambos modelos.

4.2 Validación de Resultados a Través de Simulación

Se espera que las cantidades y_j determinadas por el μ AG bajo el modelo VMI extendido puedan reducir los riesgos de desabastecimiento en comparación con el modelo de referencia. Sin embargo, esto no puede evaluarse considerando únicamente la formulación matemática y los resultados de utilidad o ganancia numéricos, porque el modelo propuesto asume una demanda variable, y esta solo puede evaluarse a través de un sistema dependiente del tiempo.

En este contexto, la simulación de eventos discretos proporciona la herramienta para representar los procesos como una secuencia (discreta) de eventos en el tiempo. En el sistema VMI de dos escalones, el proceso consiste en el consumo de inventario: ciclo de suministro en el j -ésimo minorista, donde el inventario se consume a una tasa de demanda diaria variable. Este proceso se puede describir mediante el pseudocódigo presentado en la Figura 4.1.

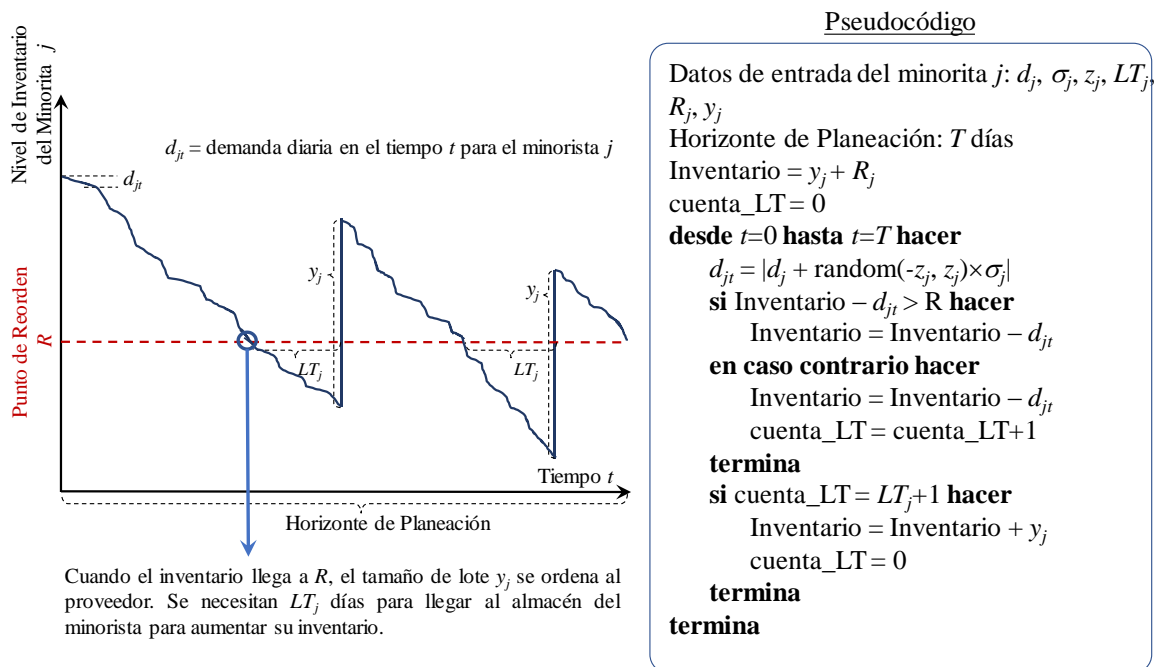


Figura 4.1 Descripción y pseudocódigo del consumo de inventario – ciclo de suministro en el j -ésimo minorista. Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, se tiene un medio para evaluar la pertinencia de los resultados presentados en la Tabla 4.2 (esto es, la evaluación dinámica del modelo). Para ello se consideró el código de simulación descrito en (Caballero-Morales, 2020), el cual fue desarrollado con el software

de programación MATLAB/Octave. La Figura 4.2 presenta los detalles del código de simulación adaptado y su interfaz de usuario.

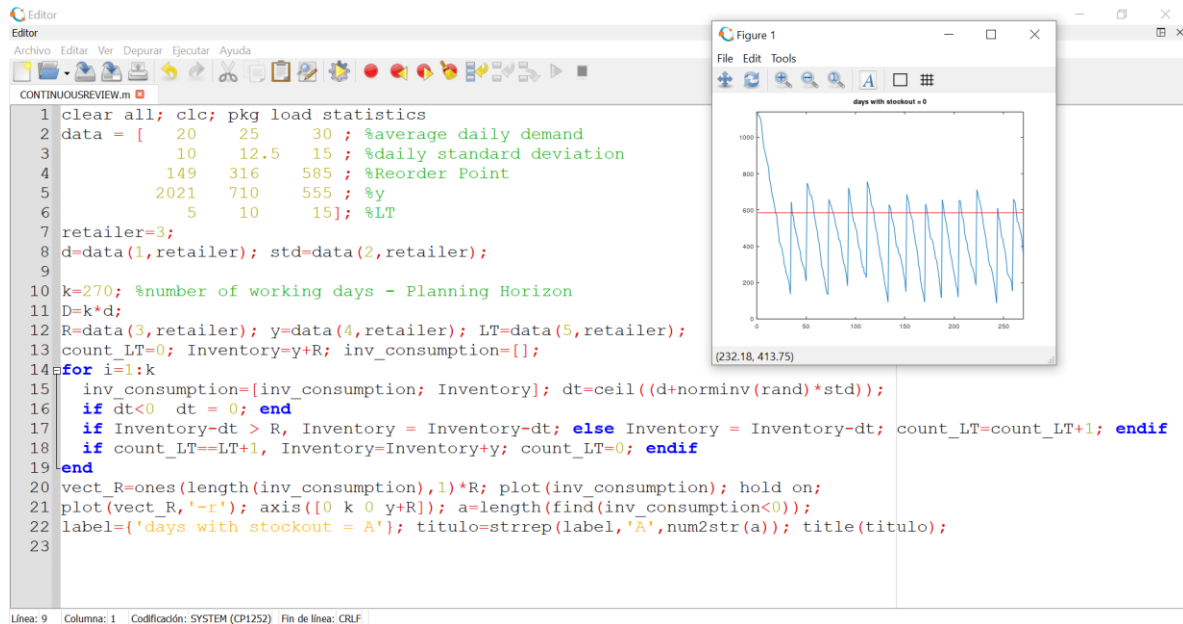


Figura 4.2 Código de simulación para la evaluación dinámica del modelo de beneficio de dos escalones VMI base y extendido.

Tal como se presenta, los datos de entrada consisten en d_j , $\sigma_j (=hd_j)$, R_j , y_j y LT_j . Luego, el código genera aleatoriamente una demanda diaria normalmente distribuida para simular los patrones de reabastecimiento y consumo del inventario en cualquier momento t a través de un horizonte de planificación (en este caso, $k = 270$ días hábiles). Al final, el código traza estos patrones y determina la cantidad de días con eventos de desabastecimiento (donde el inventario $<$ demanda diaria).

Tenga en cuenta que, debido a la naturaleza aleatoria de la simulación, cada vez que se ejecuta el código de simulación se puede obtener un patrón de demanda diferente. Por lo tanto, la evaluación dinámica de los modelos de ganancias de dos escalones VMI de referencia y extendido se realizó con 10 ejecuciones del código de simulación. La Tabla 4.3 y la Tabla 4.4 presentan el número de días con desabastecimiento considerando los parámetros de los modelos de utilidad de dos escalones VMI de referencia y VMI extendido, respectivamente.

Tabla 4.3 Número de días con desabastecimiento considerando los parámetros y_j (= [2001, 675, 501]) para el modelo de ganancia de dos escalones VMI de referencia.

Retailer	Ejecuciones de simulación									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	4	0	0	0	0	2	0
3	1	4	0	20	0	0	4	0	2	4

Tabla 4.4 Número de días con desabastecimiento considerando los parámetros y_j (= [2021, 710, 555]) para el modelo de ganancia de dos escalones VMI extendido.

Retailer	Ejecuciones de simulación									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
3	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0

Tal como se presenta, los eventos de desabastecimiento pueden ocurrir en los escenarios modelados por los modelos VMI de referencia y extendidos. Sin embargo, es importante resaltar que el número de eventos es significativamente menor con los parámetros del modelo VMI extendido. En presencia de tasa de demanda variable, los parámetros del modelo de referencia llevaron a $2+4+2 = 8$ eventos de desabastecimiento para el minorista $j = 2$, y $1+4+20+4+2+4 = 35$ eventos de desabastecimiento para el minorista $j = 3$ a lo largo de todo el año y 10 corridas de simulación. En contraste, los parámetros del modelo extendido llevaron a $1+1+1 = 3$ y $2+3 = 5$ eventos de desabastecimiento para el minorista $j = 2$ y $j = 3$ respectivamente.

5. CONCLUSIONES

Tradicionalmente, mantener altos niveles de inventario ha sido la única forma de garantizar la disponibilidad de productos vitales en la industria farmacéutica. Sin embargo, esto puede aumentar los costos de gestión de inventario, la obsolescencia y los riesgos de desabastecimiento cuando el medicamento tiene una fecha de caducidad corta o una demanda muy variable.

La presente investigación propuso un modelo de ventas VMI de múltiples minoristas con la premisa de una demanda no determinista ya que los riesgos de escasez están correlacionados con la variabilidad de la demanda. Las soluciones y parámetros (tamaños de lote de inventario y puntos de reorden) obtenidos con este modelo fueron evaluados dinámicamente a través de simulación por computadora. Al integrar datos sobre la variabilidad de la demanda dentro de la función de utilidad del sistema VMI, los lotes de inventario estimados y los puntos de pedido pueden reducir los períodos con desabastecimiento en la CS de dos escalones.

Si bien estos resultados son alentadores para reducir los riesgos de desabastecimiento en la CS, es importante dar seguimiento a corto y mediano plazo a la aplicación de estos modelos en las industrias objetivo. Además, aumentar la complejidad del modelo para incluir variables como la vida útil de los productos perecederos en la industria agroalimentaria.

6. PUBLICACIÓN INDIZADA (ESCI, CONACYT)



www.editada.org

International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, 13(2), May-Aug 2022, 114–125. ISSN: 2007-1558

Multi-retailer Sales Model under Uncertain Demand in a Pharmaceutical Two-Echelon Supply Chain with Vendor Managed Inventory System

*Luis-Fernando Carreón-Nava, Santiago-Omar Caballero-Morales**

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla A.C., 17 Sur 901, Barrio de Santiago, Puebla, Mexico

*Correspondence: santiagoomar.caballero@upaep.mx

Abstract. The Vendor Managed Inventory (VMI) system enables vendors to manage their own and their retailers' inventories to improve the performance of two-echelon supply chains. However, most VMI systems consider the demand patterns of the retailers as deterministic, which is uncommon in practice where variability is significant. This can lead to inefficient results, particularly within the pharmaceutical industry where an efficient supply chain through VMI is vital. The present work proposes a multi-retailer VMI model to maximize the profits of a two-echelon supply chain in the presence of non-deterministic or uncertain demand. Due to the complexity of the model, a micro-genetic algorithm was developed to determine the lot size strategy considering the variability of the non-deterministic demand within the profit function and reduce the stockout risk. Through computer simulation, the proposed VMI model was tested, showing that it is more efficient to reduce stockout events than those using deterministic demand patterns.

Keywords: Vendor Managed Inventory, continuous review, genetic algorithms

Article Info

Received: February 24, 2022

Accepted: May 05, 2022

1 Introduction

Vendor Managed Inventory (VMI) is an inventory management strategy developed to improve supply chain (SC) performance [1], [2]. With VMI, the vendor or manufacturer directly manages the inventories at its retailers' and/or buyers' warehouses [3]. This enables continuous tracking of inventories to determine the most appropriate time to produce them, distribute them and supply them as their levels decrease by the clients' purchase behavior [4].

For an efficient implementation of VMI, collaboration and policies are established through contracts to ensure that information flow and flexible production and distribution planning throughout the SC are performed accordingly to the retailers' requirements and vendors' capabilities. This leads to reduce the operational costs of the SC and distribute the benefits fairly among all its members [1], [5], [6]. This represents an advantage when compared to the traditional SC, where most of the agreements between SC members (first/second level suppliers/vendors, wholesalers or retailers, etc.) are non-cooperative with no mutual benefit, favoring only the interests of one member (vendor or retailer) [6].

Although the vendors' market competitiveness and cooperation between retailers and vendors are positively associated with the use of VMI systems, such benefits could vary depending on the implementation strategy [7], [8]. Thus, for specific industries, the operational models and technologies considered to support the VMI system must be carefully selected, designed and adapted to ensure a successful implementation.

Within the pharmaceutical industry, vendors and retailers require high stock availability and service level as medicines are vital for human health and survival [9]. Traditionally, high inventory levels are maintained to guarantee the availability of these

products. However, this practice can increase inventory management costs and obsolescence risks when medicines have short expiry dates [10]. Also, stockout risk is significant as shortage is common [9].

Even though these problems and risks are widely known, there is limited data regarding the application of VMI systems within the pharmaceutical industry. In this regard, a VMI system can improve collaboration, information exchange and cost reduction between hospitals, drug/medicine distributors and laboratories [11], [12].

Hence, the present work contributes with the development of a VMI system for two-echelon pharmaceutical SCs. The proposed VMI model considers a key aspect which has not been addressed by previous works (i.e., [13], [14]) and is associated with stockout and obsolescence risks in practice: demand variability (i.e., non-deterministic or uncertain demand). This aspect is integrated within the profit function of the two-echelon SC to determine the economic lot size required to reduce the inventory management costs and stockout risks. Due to the complexity of the profit function, a micro-genetic algorithm (μ GA) was developed to solve it to near optimality and determine the lot size that maximizes profits and minimizes stockout risks. Finally, through computer simulation, the VMI model was tested, showing that it is more efficient to reduce stockout events than those using constant (i.e., deterministic) demand patterns. This testing is frequently absent from other works in the field.

The structure of the present work is as follows: in Section 2 the base or reference VMI model is reviewed and described. This is the model of Diabat (2014) [13]. Then, in Section 3, our proposed or extended VMI model is described. The details of the μ GA developed to solve the profit functions of the VMI models are presented in Section 4. The results of the μ GA and the proposed VMI model are analyzed in Section 5. Finally, our conclusions and future work are discussed in Section 6.

2 Reference Model Review

Diabat (2014) [13] developed a profit (P) mathematical model that integrated the price-demand and inventory control costs for a two-echelon SC with a VMI system. This model considers the variables and mathematical formulations described in Table 1.

This model was based on the works reported in [15] and [16], and it has been extended by Seifbarghy et al. (2016) [17] and Salehi-Amiri et al. (2020) [14]. Thus, it is an established model within the VMI literature.

3 Proposed Extended Model

The model described in Table 1 considers deterministic demand patterns within the inventory costs for the mathematical formulation [14], [17]. This may compromise the estimation of the economic lot size, defined by the decision variable y_j , in the presence of variable (non-deterministic) demand patterns.

To overcome this aspect, the integration of an inventory control model with non-deterministic demand is considered. Because the reduction of stockout risks is imperative within the pharmaceutical industry, frequent tracking of the inventory levels is required. For this case, the Continuous Review or (Q, R) inventory control model for non-deterministic demand was considered [18], [19]. In general terms, this model considers the variables and mathematical formulations described in Table 2.

To integrate the extended model, a standardization of terms is performed between the mathematical formulations of inventory management costs and decision variables. First, the economic lot size under the (Q, R) model is standardized as follows (at this point, S_{bj} and H_{bj} are generalized as S_b and H_b respectively):

$$Q = \sqrt{\frac{2D(C_o + pn)}{c_h}} = \sqrt{\frac{2y(S_s + S_b + pn)}{H_s + H_b}}. \quad (1)$$

Table 1. Notation and mathematical formulation of the reference VMI two-echelon profit model [13]

Variable	Description
a_j	intercept value of the cost-demand curve of the j -th retailer
b_j	negative slope of the cost-demand curve of the j -th retailer
y_j	decision variable = annual sales quantity of the j -th retailer
δ	production cost per unit
θ_j	flow cost per unit from vendor to the j -th retailer
H_s	annual unit holding cost of the vendor in independent mode
H_{bj}	annual unit holding cost of the j -th retailer in independent mode
S_s	setup cost of the vendor per order in independent mode
S_{bj}	setup cost of the j -th retailer per order in independent mode
y_{jmin}	minimum expected sales quantity of the j -th retailer
y_{jmax}	maximum expected sales quantity of the j -th retailer
C	capacity of the vendor
H	total inventory management costs = $H = \sqrt{2y_j(H_s + H_{bj})(S_s + S_{bj})}$

Profit Mathematical Formulation

$$\text{Maximize } P = \sum_{j=1}^N \{a_j y_j - b_j y_j^2 - \delta y_j - 0.5\theta_j y_j^2 - H\}$$

Subject to:

$$\begin{aligned} y_{jmin} < y_j < y_{jmax}, \\ \sum_{j=1}^N y_j &\leq C \\ y_j &\geq 0 \end{aligned}$$

Second, the mathematical formulation of H (total inventory management costs, see Table 1) is extended by the model described in (1). As reported in [13], [15], [16], H represents the total costs associated to inventory management, which under the (Q, R) model are defined by TC (see Table 2). As consequence, the equivalent mathematical expression for H is obtained by replacing the updated expressions of Q and R into TC as follows:

$$H = \left(\frac{y}{\sqrt{\frac{2y(S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z))}{H_s + H_b}}} \right) (S_s + S_b) + \left(\frac{H_s + H_b}{2} \right) \sqrt{\frac{2y(S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z))}{H_s + H_b}} + (H_s + H_b)[z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)] + p\sigma_{LT}L(z) \left(\frac{y}{\sqrt{\frac{2y(S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z))}{H_s + H_b}}} \right). \quad (2)$$

$$H = \left(\frac{y}{\sqrt{\frac{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}{H_s+H_b}}} \right) (S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z)) + \left(\frac{H_s+H_b}{2} \right) \sqrt{\frac{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}{H_s+H_b}} + (H_s + H_b)[z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)] . \quad (3)$$

Table 2. Notation and mathematical formulation of the (Q, R) inventory control model with non-deterministic demand [18], [19]

Variable	Description
D	cumulative demand through a planning horizon
p	cost of a unit of product not delivered to a customer or retailer (unit stockout cost)
n	expected number of units not delivered to a customer or retailer (number of stockout units) and it is estimated by as $n = \sigma_{LT}L(z)$.
μ_{LT}	average demand throughout the lead time ($\mu_{LT} = d \times LT$)
σ_{LT}	standard deviation of the demand throughout the lead time ($\sigma_{LT} = \sigma\sqrt{LT}$)
$L(z)$	probability given by the loss function associated to stockout units
d	average daily demand
σ	standard deviation of the daily demand
Q	decision variable = optimal lot size (economic lot quantity) to deliver to retailer
R	reorder point = inventory level which triggers the ordering process of a lot of size Q ($R = \mu_{LT} + z\sigma_{LT}$)
C_o	ordering cost associated to a lot of size Q (note that C_o is equivalent to $S_s + S_b$ from the reference VMI model)
C_h	holding cost associated to a stored unit of product within the inventory (note that C_h is equivalent to $H_s + H_b$ from the reference VMI model)
LT	lead time (delivery time to supplier)

Lot Size Mathematical Formulation

$$Q = \sqrt{\frac{2D(C_o + pn)}{C_h}}$$

Total Inventory Management Cost Mathematical Formulation

$$TC = \left(\frac{D}{Q}\right)C_o + \left(\frac{Q}{2}\right)C_h + C_h[R - \mu_{LT} + \sigma_{LT}L(z)] + pn\left(\frac{D}{Q}\right)$$

$$H = \left(\frac{y\sqrt{H_s+H_b}}{\sqrt{2y(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}} \right) (S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z)) + \frac{\sqrt{y(H_s+H_b)(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}}{\sqrt{2}} + (H_s + H_b)[z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)] . \quad (4)$$

$$H = \left(\frac{\sqrt{y(H_s+H_b)(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}}{\sqrt{2}} \right) + \frac{\sqrt{y(H_s+H_b)(S_s+S_b+p\sigma_{LT}L(z))}}{\sqrt{2}} + (H_s + H_b)[z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)] . \quad (5)$$

$$H = \sqrt{2y(H_s + H_b)(S_s + S_b + p\sigma_{LT}L(z))} + (H_s + H_b)(z\sigma_{LT} + \sigma_{LT}L(z)) . \quad (6)$$

In contrast to the reference model (see Table 1), the updated mathematical expression for H (6) includes σ_{LT} which provides information regarding demand variability. For non-deterministic demand, the variability is considered larger (as measured by the daily standard deviation σ) than a fraction h of the average daily demand (d). This is measured by the Coefficient of Variability (CV) which is defined as:

$$CV = \frac{\sigma}{d} \geq h . \tag{7}$$

In terms of demand variability:

$$\sigma_{LT} = \sigma\sqrt{LT} = hd\sqrt{LT} . \tag{8}$$

Finally, to reduce the stockout risk, y must include the additional items associated with demand variability. This is equivalent to $y \rightarrow x+z\sigma_{LT}$ where x is a supporting variable which leads to the following updated profit mathematical formulation for $j=1, \dots, N$ retailers (P from Table 1):

$$\begin{aligned} \text{Maximize } P = \sum_{j=1}^N & \left\{ a_j(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j}) - b_j(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j})^2 - \delta(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j}) - 0.5\theta_j(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j})^2 - \right. \\ & \left. \left[\sqrt{2(x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j})(H_s + H_{b_j})(S_s + S_{b_j} + p_jhd_j\sqrt{LT_j}L(z_j))} + (H_s + H_{b_j})(z_jhd_j\sqrt{LT_j} + hd_j\sqrt{LT_j}L(z_j)) \right] \right\} . \tag{9} \end{aligned}$$

Subject to:

$$y_{jmin} < x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j} < y_{jmax} \quad \forall j \tag{10}$$

$$\sum_{j=1}^N (x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j}) \leq C \tag{11}$$

$$x_j + z_jhd_j\sqrt{LT_j} \geq 0 \quad \forall j \tag{12}$$

$$x_j \geq 0 \tag{13}$$

4. Solving Method: Micro-Genetic Algorithm

Determining the values of x_j or y_j which maximize the profit function P is a complex task. Because of this, the works reviewed on VMI systems for two-echelon SC have developed metaheuristics to determine these values and solve the P function to near optimality and within reasonable computational time. Among these metaheuristics the following can be mentioned: Genetic-Algorithm / Simulated Annealing [13], Particle Swarm Optimization [14], Genetic Algorithm [15], Particle Swarm Optimization / hybrid Genetic Algorithm + Artificial Immune System [16], discrete Particle Swarm Optimization / Genetic Algorithm / Simulated Annealing [17].

The present work considers the development of a metaheuristic based on Genetic Algorithms to solve the P function. In contrast to the reviewed works which considered Genetic Algorithms, our proposal is focused on a lean and faster version of this metaheuristic.

Figure 1 presents the general structure of the micro-Genetic Algorithm (μ GA) developed to solve the P function. While the μ GA has the same structure than a standard GA, the difference is established within the selection of three main features: chromosome coding of solutions, population size of solutions, and reproduction operators for solution. These features can lead the μ GA to achieve faster convergence to near optimal solutions by considering smaller populations and thus, less storing memory [20], [21]. Figure 2 presents the details of the chromosome coding for the population and Figure 3 presents the details of the reproduction operators used for the μ GA.

As presented in Figure 2, a solution consists of the set of y_j values for the N retailers of the two-schelon SC. The assessment of these values is performed through their substitution within the profit function P . Within the μ GA, the value of P is used to measure

the fitness of the solution for selection and reproduction of new solutions. Initially, a population with M solutions (or individuals) is randomly generated considering the limits defined by y_{jmin} and y_{jmax} for each y_j value.

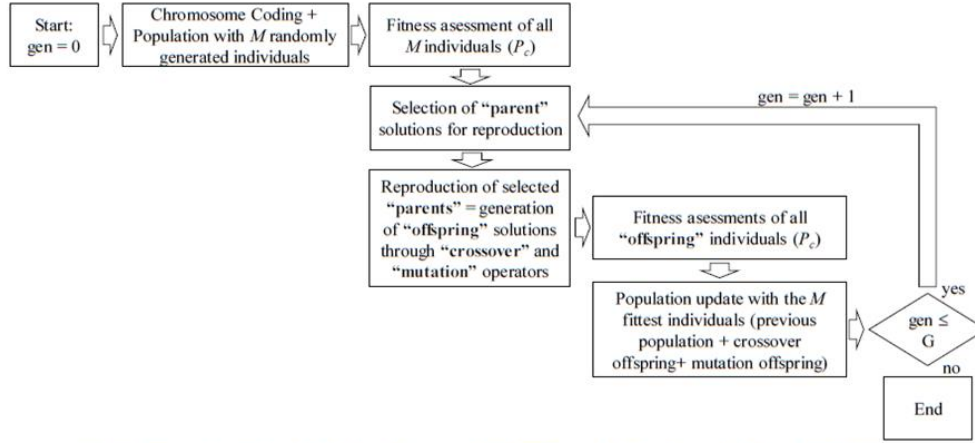


Fig. 1. Structure of the μ GA developed to solve the profit model for the two-echelon VMI SC

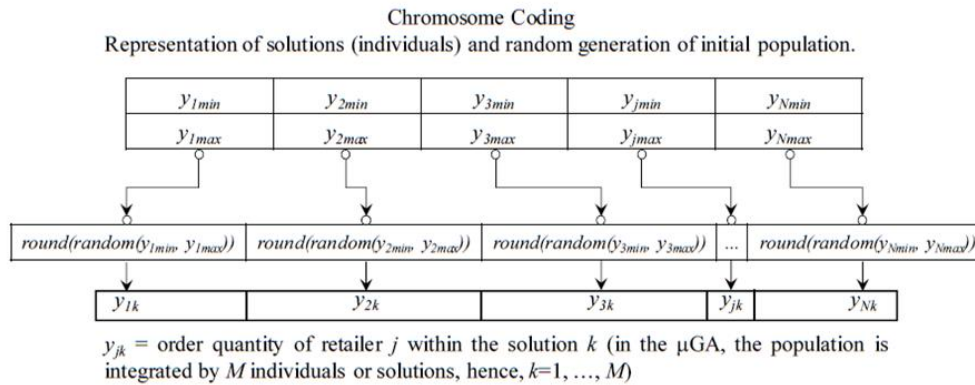


Fig. 2. Chromosome coding considered to generate initial solutions and populations for the proposed μ GA

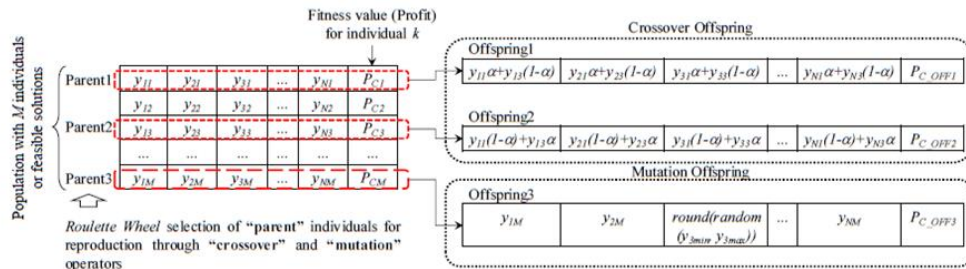


Fig. 3. Selection and reproduction operators considered to generate new solutions and populations for the proposed μ GA

Then, as presented in Figure 2, P is computed for each solution and selection of “parents” is performed to create new “offspring” solutions. Selection is performed by the *Roulette Wheel* operator, and reproduction is performed by linear crossover and mutation operators. Once that the “offspring” solutions are created, their respective P values are computed.

Finally, the population is updated with the best M solutions (those with the highest P values) from the current population and the crossover and mutation offspring solutions. If a stop condition is met, the process is finished, otherwise, the selection and reproduction processes continue with the updated population. The proposed μ GA considers a stop condition given by a fixed number of iterations or generations ($gen \leq G$).

The μ GA was coded in MATLAB 2018a and executed in a HP Workstation with Intel Xeon CPU E3-1240 at 3.40 GHz and 8GB RAM. The parameters of the μ GA were the following: crossover probability (α) = 0.3, total number of generations (G) = 100, population size (M) = 20 individuals, number of crossover and mutation offspring = $2M/3$ individuals.

5. Results

5.1 Assessment of the Micro-Genetic Algorithm

Assessment of the μ GA was performed with the data presented in Table 3. This data was considered by (Diabat, 2014) [13] to evaluate the reference model for P (see Table 1) and compared with three solving methods: LINGO (exact method), standard GA and hybrid algorithm (metaheuristics).

Table 3. Test data of the reference VMI two-echelon profit model [13]

Retailer Related Data			
j	1	2	3
H_{bj}	7	8	9
S_{bj}	10	20	30
a_j	20	19	18
b_j	0.003	0.005	0.008
y_{jmin}	2000	500	500
y_{jmax}	4000	3000	1500
θ_j	0.004	0.006	0.008
Vendor Related Data			
H_s	9		
S_s	15		
C	5750		
δ	7		

Table 4 presents the results of the solving methods reported by [13]. The results of the proposed μ GA are included for comparison purposes. As presented, the μ GA outperformed the standard GA and the hybrid algorithm reported by [13], achieving near optimal results (close to LINGO). Thus, the μ GA can provide near-optimal solutions for the extended model described by the mathematical formulation (9)-(13) for P .

Table 4. Results with the test data of the reference VMI two-echelon profit model [13]

Solving Method	y_1	y_2	y_3	P
LINGO	2000	710	500	9903.10
GA	2002	673	500	9878.09
Hybrid	2001	675	500	9886.52
μ GA	2001	710	501	9893.87

5.2 Solving the Extended Two-Echelon VMI Model

For the assessment of the proposed model for P , Table 5 presents the set of parameters for the demand patterns of the retailers. Note that high demand variability ($CV = h = 0.5$) is considered. Table 6 presents the results of the reference model and the proposed model with non-deterministic demand data.

Table 5. Test data for the extended VMI two-echelon profit model (own data)

j	1	2	3
d_j	20	25	30
h	0.5	0.5	0.5
LT_j	5	10	15
p_j	8	10	15
z_j	2.17	1.65	2.32
$L(z_j)$	0.005	0.021	0.003

Table 6. Results of test data for the reference and extended VMI two-echelon profit model

VMI Models	y_1	y_2	y_3	R_1	R_2	R_3	P
Reference	2001	675	501	149	316	585	9886.52
Extended VMI	2021	710	555	149	316	585	7817.82

As presented, P in the extended VMI model is smaller than P in the reference model. This is expected on account of the additional costs included in the extended VMI model which is focused on reducing the stockout risk in the presence of non-deterministic demand (risk not considered by the reference model). The reorder points R_j , which depend on the average demands and demand variabilities (independent of costs), are the same for both models.

5.3 Validating the Extended Two-Echelon VMI Model through Simulation

It is expected that the quantities y_j determined by the μ GA under the extended VMI model can reduce the stockout risks in comparison to the reference model. However, this cannot be assessed by only considering the mathematical formulation and the profit results. This is because the proposed model assumes variable demand, and this can only be assessed through a time-dependent system.

In this context, discrete-event simulation provides the tool to represent processes as a (discrete) sequence of events in time. In the two-echelon VMI system, the process consists of the inventory consumption – supply cycle at the j -th retailer, where inventory is consumed at a variable daily demand rate. This process can be described by the pseudo-code presented in Figure 4.

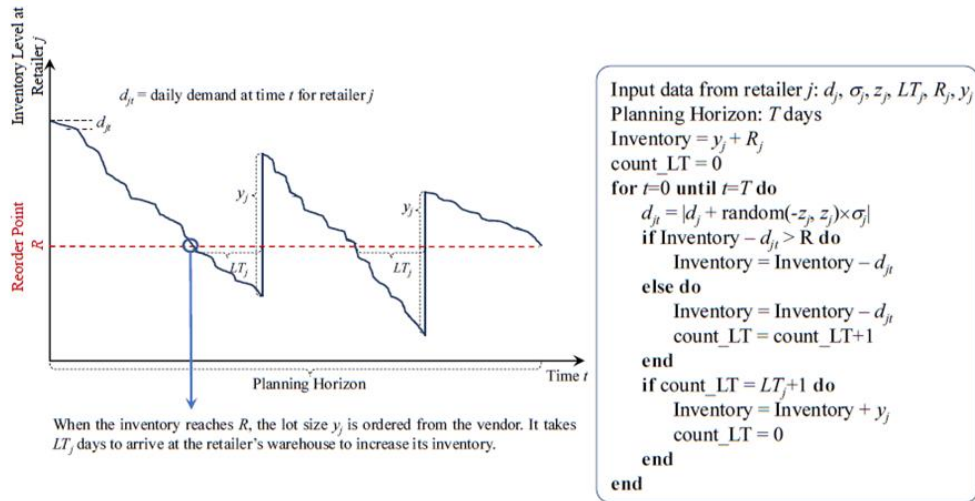


Fig. 4. Description and pseudocode of the inventory consumption – supply cycle at the j -th retailer

The simulation pseudocode was implemented with the MATLAB/Octave programming platform based on the code described in [19]. Figure 5 presents an overview of the computational code. As presented, the input data consists of $d_j, \sigma_j (=hd_j), R_j, y_j$ and LT_j . Then, the code randomly generates daily normally-distributed demand to simulate the replenishment and consumption patterns of the inventory at any time t through a planning horizon (in this case, $k = 270$ working days). At the end, the code plots these patterns and determines the number of days with stockout events (where inventory < daily demand).

It should be noted that simulation involves a random element to provide variable demand values. Hence, a different demand pattern is obtained with each execution of the simulation code.

Therefore, the validation of solutions of the reference and extended VMI two-echelon profit models was performed with 10 runs of the simulation code. Table 7 and Table 8 presents the number of days with stockout considering the parameters of the reference and extended VMI two-echelon profit models respectively.

As presented, stockout events can occur in the scenarios modelled by the reference and the extended VMI models. However, it is important to highlight that the number of events is significantly smaller with the parameters of the extended VMI model. In the presence of variable demand rate, the parameters of the reference model led to $2+4+2 = 8$ stockout events for retailer 2, and $1+4+20+4+2+4 = 35$ stockout events for retailer 3 through all 10 simulation runs. In contrast, the parameters of the extended model led to $1+1+1 = 3$ and $2+3 = 5$ stockout events for retailer 2 and 3 respectively.

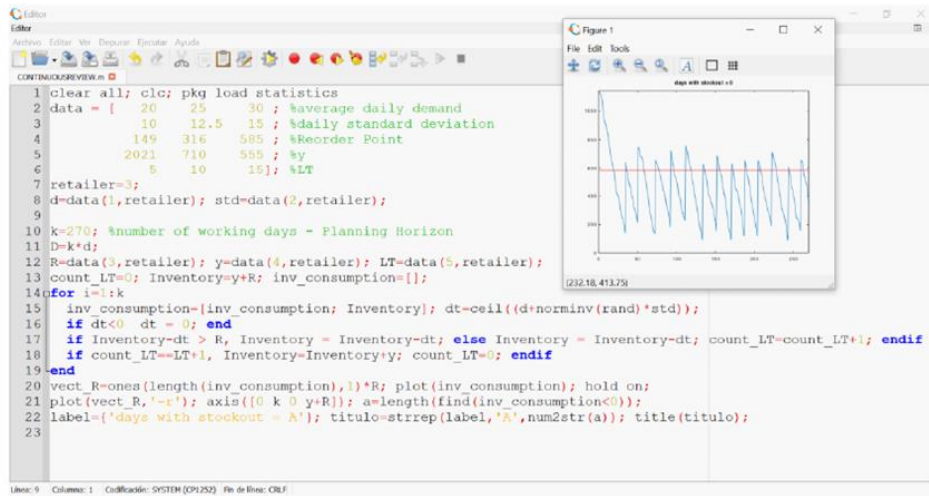


Fig. 5. Implementation of the simulation pseudocode code for the assessment of the reference and extended VMI two-echelon profit models

Table 7. Number of days with stockout considering the parameters y_j for the reference VMI two-echelon profit model: $y_1 = 2001, y_2 = 675, y_3 = 501$ (see Table 6)

Retailer J	Simulation Runs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	4	0	0	0	0	2	0
3	1	4	0	20	0	0	4	0	2	4

Table 8. Number of days with stockout considering the parameters y_j for the extended VMI two-echelon profit model: $y_1 = 2021, y_2 = 710, y_3 = 555$ (see Table 6)

Retailer j	Simulation Runs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
3	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0

6. Conclusions and Future Work

Traditionally, maintaining high inventory levels has been the only way to guarantee the availability of vital products in the pharmaceutical industry. However, this may increase inventory management costs, obsolescence and stockout risks when medicine has short expiry date or a highly variable demand.

The present research proposed a multi-retailer VMI sales model with the premise of non-deterministic demand as shortage risks are correlated with demand variability. The solutions and parameters (inventory lot sizes and reorder points) obtained with this model were dynamically evaluated through computer simulation. By integrating data regarding demand variability within the profit function of the VMI system, the estimated inventory lots and reorder points can reduce the periods with stockout in the two-echelon SC.

While these results are encouraging to reduce stockout risks in SC, it is important to provide short- and medium-term follow-up to the application of these models on the aimed industries. Also, to increase the complexity of the model to include variables such as the products' shelf life for perishable products in the agro-food industry.

Data Availability Statement

The authors confirm that the data supporting the findings of this study are available within the article. If specific data or supplementary materials are required, these can be provided by the corresponding author SOCM upon reasonable request.

Competing Interest Statement

In accordance with Taylor & Francis policy and our ethical obligation as researchers, we confirm that there are no relevant financial or non-financial competing interests to report.

References

1. De Giovanni, P., Karray, S., Martín-Herrán, G.: Vendor Management Inventory with consignment contracts and the benefits of cooperative advertising. *European Journal of Operational Research* 272(2), 465–480 (2019) <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.06.031>
2. Govindan, K.: Vendor-managed inventory: a review based on dimensions. *International Journal of Production Research* 51(13), 3808–3835 (2013) <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.751511>
3. Gharaei, A., Karimi, M., Hoseini Shekarabi, S.A.: 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, 223–254 (2019) <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.11.035>
4. Bai, Q., Gong, Y., Jin, M., Xu, X.: Effects of carbon emission reduction on supply chain coordination with vendor-managed deteriorating product inventory. *International Journal of Production Economics* 208, 83–99 (2019) <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.11.008>
5. Ben-Daya, M., Hassini, E., Hariga, M., AlDurgam, M.M.: Consignment and vendor managed inventory in single-vendor multiple buyers supply chains. *International Journal of Production Research* 51(5), 1347–1365 (2013) <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.662725>
6. Beheshti, H.M., Clelland, J.J., Harrington, K.V.: Competitive Advantage with Vendor Managed Inventory. *Journal of Promotion Management* 26(6), 836–854 (2020) <https://doi.org/10.1080/10496491.2020.1794507>
7. Lu, Y., Zhao, L.: VMI service pricing risk and conduction in supply chain system. *Dongnan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Southeast University (Natural Science Edition)* 37(SUPPL. 2), 426–429 (2007)
8. Dong, Y., Dresner, M., Yao, Y.: Beyond information sharing: an empirical analysis of vendor-managed inventory. *Production and Operation Management* 23(5), 817–828 (2014) <https://doi.org/10.1111/poms.12085>
9. Krichanchai, S., MacCarthy, B.L.: The adoption of vendor managed inventory for hospital pharmaceutical supply. *International Journal of Logistics Management* 28(3), 755–780 (2017) <https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2015-0010>
10. De Vries, J.: The shaping of inventory systems in health services: a stakeholder analysis. *International Journal of Production Economics* 133(1), 60–69 (2011) <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.029>
11. Mustaffa, N. H., Potter, A.: Healthcare supply chain management in Malaysia: A case study. *Supply Chain Management* 14(3), 234–243 (2009) <https://doi.org/10.1108/13598540910954575>
12. Watson, N., Serumaga, B., McCord, J.: Selecting and implementing vendor managed inventory systems for public health supply chains: a guide for public sector manager. USAID DELIVER PROJECT, Task Order 4, Arlington, VA (2012)
13. Diabat, A.: Hybrid algorithm for a vendor managed inventory system in a two-echelon supply chain. *European Journal of Operational Research* 238(1), 114–121 (2014) <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.061>
14. Salehi-Amiri, S.A.H., Zahedi, A., Kazemi, M., Soroor, J., Hajiaghahi-Keshteli, M.: Determination of the optimal sales level of perishable goods in a two-echelon supply chain network. *Computers & Industrial Engineering* 139(106156), 1–10 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106156>
15. Nachiappan, S.P., Jawahar, N.: A genetic algorithm for optimal operating parameters of VMI system in a two-echelon supply chain. *European Journal of Operational Research* 182, 1433–1452 (2007) <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.09.040>
16. Sue-Ann, G., Ponnambalam, S.G., Jawahar, N.: Evolutionary algorithms for optimal operating parameters of vendor managed inventory systems in a two-echelon supply chain. *Advances in Engineering Software*, 47–54 (2012) <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2012.06.003>

17. Seifbarghy, M., Kalani, M.M., Hemmati, M.: A discrete particle swarm optimization algorithm with local search for a production-based two-echelon single-vendor multiple-buyer supply chain. *Journal of Industrial Engineering International* 12, 29–43 (2016) <https://doi.org/10.1007/s40092-015-0126-6>
18. LINDO Systems Inc.: *Inventory, Production, and Supply Chain Management*. LINDO Systems Inc., Chicago (2021)
19. Caballero-Morales, S.O.: Development of a coded suite of models to explore relevant problems in logistics. *PeerJ Computer Science* 6(e329), 1–31 (2020) <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.329>
20. Batres, R.: Generation of operating procedures for a mixing tank with a micro genetic algorithm. *Computers & Chemical Engineering* 57, 112–121 (2013) <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2013.04.016>
21. Ribas, P.C., Yamamoto, L., Polli, H.L., Arruda, L., Neves-Jr., F.: A micro-genetic algorithm for multi-objective scheduling of a real-world pipeline network. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 26(1), 302–313 (2013) <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.09.020>

International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics

Current Archives Indexing/abstracting Legal Information Editorial Team About ▾

 Search

[Home](#) / [Legal Information](#)

Legal Information


LEGAL INFORMATION

(SPANISH)

©International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, Año 11, No. 3, Septiembre-Diciembre 2020, Fecha de Publicación: 3 de Enero de 2020, es una publicación difundida electrónicamente 3 veces al año, editada por el Dr. Jorge A. Ruiz-Vanoye, Altair 14 Col. Lomas de Palmira, Jiutepec, Morelos, Mexico, CP:62550, <http://ruizvanoye.com>, editor@ijcopi.org. Editor responsable: Jorge Alberto Ruiz Vanoye, Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2016-120112093400-203, ISSN: 2007-1558. Responsable última modificación: Dr. Jorge A. Ruiz-Vanoye, Fecha de última modificación, 3 de Enero de 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación ni de la Editorial.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del ©International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics.


Master Journal List
Search Journals
Match Manuscript
Downloads
Help Center
Login
Create Free Account

The power of the Web of Science™ on your mobile device, wherever inspiration strikes. Dismiss Learn More

Already have a manuscript?

Use our Manuscript Matcher to find the best relevant journals!

[Find a Match](#)

Refine Your Search Results

2007-1558 Search Sort By: Title (A-Z) ▾

Search Results

Found 1 results (Page 1) [Share These Results](#)

Exact Match Found

INTERNATIONAL JOURNAL OF COMBINATORIAL OPTIMIZATION PROBLEMS AND INFORMATICS

Publisher: INT JOURNAL COMBINATORIAL OPTIMIZATION PROBLEMS & INFORMATICS , ALTAIR 14 COL LOMAS JIUTEPEC, JIUTEPEC, MEXICO, MORELES, 62550

ISSN / eISSN: 2007-1558

Web of Science Core Collection: [Emerging Sources Citation Index](#)

[Share This Journal](#) View profile page

*Requires free login.

Items per page: 10 ▾ 1 - 1 of 1 < >

Resultado de evaluación

Revista: International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics

Área: VII. Ingenierías

ISSN:

Dimensión	Puntaje Dimensión	Criterio	Puntaje Criterio
Política y gestión editorial 15.00 %/p	27 pts	1.1 Disponibilidad de título paralelo y abstracts en inglés	3 pts
		1.2 Nivel de conveniencia de la política editorial	2 pts
		1.3 Tipo de revisión por pares	2 pts
		1.4 Aplicación de criterios éticos	4 pts
		1.5 Internacionalidad de los editores y del comité científico	2 pts
		1.6 Internacionalidad de los autores	0 pts
		1.7 Porcentaje de autores de la propia institución	3 pts
		1.8 Número de artículos de producción citables publicados	0 pts
		Subtotal	16pts. P= 8.89%
Calidad del contenido 25.00 %/p	20 pts	2.1 Claridad de los abstracts	2 pts
		2.2 Calidad y conformidad con el alcance (scope) de la revista	0 pts
		2.3 Legibilidad de los artículos	0 pts
		Subtotal	2pts. P= 2.50%

7. REFERENCIAS

- Achabal, D. D., McIntyre, S. H., Smith, S. A., & Kalyanam, K. (2000). A decision support system for vendor managed inventory. *Journal of Retailing*, 76(4), 430–454. DOI: 10.1016/S0022-4359(00)00037-3
- Arango-Serna, M. D., Adarme-Jaimes, W., & Alejandra-Otero, M. (2011). Supply Coordination with Information Sharing in Colombian Agri-Food SMEs. *Dyna-Colombia*, 78(167), 203–212.
- Archetti, C., Bertazzi, L., Laporte, G., & Speranza, M. G. (2007). A branch-and-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem. *Transportation Science*, 41(3), 382–391. DOI: 10.1287/trsc.1060.0188
- Babu, S., & Mohan, U. (2018). An Integrated Approach to Evaluating Sustainability in Supply Chains Using Evolutionary Game Theory. *Computers & Operations Research*, 89, 269-283. DOI: 10.1016/j.cor.2017.01.008
- Bai, Q., Gong, Y., Jin, M., & Xu, X. (2019). Effects of carbon emission reduction on supply chain coordination with vendor-managed deteriorating product inventory. *International Journal of Production Economics*, 208, 83–99. DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.11.008
- Batres, R. (2013). Generation of operating procedures for a mixing tank with a micro genetic algorithm. *Computers & Chemical Engineering*, 57, 112–121. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2013.04.016
- Bazan, E., Jaber, M. Y., & Zanoni, S. (2015). Supply chain models with greenhouse gases emissions, energy usage and different coordination decisions. *Applied Mathematical Modelling*, 39(17), 5131–5151. DOI: 10.1016/j.apm.2015.03.044
- Beheshti, H.M., Clelland, I.J., Harrington, K.V. (2020). Competitive Advantage with Vendor Managed Inventory. *Journal of Promotion Management*, 26(6), 836-854. DOI: 10.1080/10496491.2020.1794507
- Ben-Daya, M., Hassini, E., Hariga, M., & AlDurgam, M. M. (2013). Consignment and vendor managed inventory in single-vendor multiple buyers supply chains. *International Journal of Production Research*, 51(5), 1347–1365. DOI: 10.1080/00207543.2012.662725
- Burns, L. R. (2002). *The Health Care Value Chain: Producers, Purchasers and Providers*. 1st Edition, Jossey-Bass: United States of America.

- Caballero-Morales, S.-O. (2020). Development of a coded suite of models to explore relevant problems in logistics. *PeerJ. Computer Science*, 6, e329. DOI: doi.org/10.7717/peerj-cs.329
- Caballero-Morales, S. O., & Martínez-Flores, J. L. (2020). Analysis and reduction of CO₂ emissions and costs associated to inventory replenishment strategies with uncertain demand. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(6), 3997–4005. DOI: 10.15244/pjoes/118807
- Cachon, G. P., & Netessine, S. (2006). Game Theory in Supply Chain Analysis. *INFORMS Tutorials in Operations Research*, 200–233. DOI: 10.1287/educ.1063.0023
- Cardenas-Barron, L.E. (2001). The economic production quantity (EPQ) with shortage derived algebraically. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 289-292. DOI: 10.1016/S0925-5273(00)00068-2
- Cetinkaya, S., Uster, H., Easwaran, G., & Keskin, B. B. (2009). An Integrated Outbound Logistics Model for Frito-Lay: Coordinating Aggregate-Level Production and Distribution Decisions. *INTERFACES*, 39(5), 460–475. DOI: 10.1287/inte.1090.0450
- Chen, J., Ding, T., & He, Y. (2015). Game analysis and optimization of TPL&VMI supply chain decisions. *Wuhan Ligong Daxue Xuebao (Jiaotong Kexue Yu Gongcheng Ban)/Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering)*, 39(2). DOI: 10.3963/j.issn.2095-3844.2015.02.038
- Cheung, K. L., & Lee, H. L. (2002). The inventory benefit of shipment coordination and stock rebalancing in a supply chain. *Management Science*, 48(2), 300–306. DOI: 10.1287/mnsc.48.2.300.251
- Chinchuluun, A., Karakitsiou, A., & Mavrommati, A. (2008). Game theory models and their applications in inventory management and supply chain. In *Pareto Optimality, Game Theory and Equilibria*, Springer-Verlag: New York, pp. 833–865. DOI: 10.1007/978-0-387-77247-9_29
- De Giovanni, P., Karray, S., & Martín-Herrán, G. (2019). Vendor Management Inventory with consignment contracts and the benefits of cooperative advertising. *European Journal of Operational Research*, 272(2), 465–480. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.06.031
- De Vries, J. (2011). The shaping of inventory systems in health services: A stakeholder analysis. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 60–69. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.10.029

- Diabat, A. (2014). Hybrid algorithm for a vendor managed inventory system in a two-echelon supply chain. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.061>
- Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 199–215. DOI: 10.1016/S0925-5273(03)00110-5
- Dong, Y., Dresner, M., Yao, Y. (2014). Beyond information sharing: an empirical analysis of vendor-managed inventory. *Production and Operation Management*, 23(5), 817-828. DOI: 10.1111/poms.12085
- Dong, Y., & Xu, K. (2002). A supply chain model of vendor managed inventory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38, 75-95. DOI: 10.1016/S1366-5545(01)00014-X
- Frisk, M., Göthe-Lundgren, M., Jörnsten, K., & Rönnqvist, M. (2010). Cost allocation in collaborative forest transportation. *European Journal of Operational Research*, 205(2), 448–458. DOI: 10.1016/j.ejor.2010.01.015
- Gehmlich, M. (2008). Opportunities of Supply Chain Management in Healthcare. In *eBusiness in Healthcare*, Hübner & Elmhorst (Ed.), Springer-Verlag: London, pp. 27–56. DOI: 10.1007/978-1-84628-879-1_2
- Gharaei, A., Karimi, M., & 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, 223–254. DOI: 10.1016/j.apm.2018.11.035
- Glock, C.H., Schwindl, K., & Jaber, M.Y. (2012). An EOQ model with fuzzy demand and learning in fuzziness. *International Journal of Services and Operations Management*, 12(1), 90-100.
- Goldberg, D.E., & Holland, J.H. (1998). Genetic Algorithms and Machine Learning. *Machine Learning*, 3, 95–99. DOI: 10.1023/A:1022602019183
- Golmohammadi, A.-M., Javid, N. J., Poursoltan, L., & Esmaceli, H. (2016). Modeling and Analyzing One Vendor-Multiple Retailers VMI SC Using Stackelberg Game Theory. *Industrial Engineering and Management Systems*, 15(4), 385-395. DOI: 10.7232/iems.2016.15.4.385

- Golpîra, H. (2020). Optimal integration of the facility location problem into the multi-project multi-supplier multi-resource Construction Supply Chain network design under the vendor managed inventory strategy. *Expert Systems with Applications*, 139. DOI: 10.1016/j.eswa.2019.112841
- Govindan, K. (2013). Vendor-managed inventory: a review based on dimensions. *International Journal of Production Research*, 51(13), 3808–3835. DOI: 10.1080/00207543.2012.751511
- Guimarãe, T.A., Coelho, L.C., Schenekember, C.M., & Scarpin, C.T. (2019). Computers & Operations Research, 101, 220-233. DOI: 10.1016/j.cor.2018.07.024
- Haavik, S. (2000). Building a demand-driven, vendor-managed supply chain. *Healthcare Financial Management*, 54(2), 56-61.
- Hajiaghaei-Keshteli, M., & Fathollahi-Fard, A.M. (2018). A stochastic multi-objective model for a closed-loop supply chain with environmental considerations. *Applied Soft Computing*, 69, 232-249. DOI: 10.1016/j.asoc.2018.04.055
- Harris, F.W. (1913). How Much Stock to Keep on Hand. *Factory, The Magazine of Management*, 10(240-241), 281-284.
- He, Q., & Wang, L. (2007). An effective co-evolutionary particle swarm optimization for constrained engineering design problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20(1), 89–99. DOI: 10.1016/j.engappai.2006.03.003
- Jaber, M.Y., & Zolfaghari, S. (2008). Quantitative Models for Centralised Supply Chain Coordination. In *Supply Chain*, Kordic, V. (Ed.), IntechOpen: Croatia.
- Jiang-hua, W., & Xin, Z. (2007). The Value of Centralization in a Vendor-Managed Inventory System. In *Proc. of the 2007 International Conference on Management Science and Engineering*, 20-22 August 2007, Harbin, China. DOI: 10.1109/ICMSE.2007.4421928
- Kaipia, R., & Tanskanen, K. (2003). Vendor managed category management - An outsourcing solution in retailing. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(4), 165–175. DOI: 10.1016/S1478-4092(03)00009-8
- Kellner, F., & Otto, A. (2012). Allocating CO₂ emissions to shipments in road freight transportation. *Metrika: International Journal for Theoretical and Applied Statistics*, 22(4), 451-479.

- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In Proc. of the ICNN'95 - International Conference on Neural Networks, 27 November 1995 - 01 December 1995, Perth, WA, Australia. DOI: 10.1109/ICNN.1995.488968
- Kim, D. (2005). An integrated supply chain management system: A case study in healthcare sector. *Lecture Notes in Computer Science*, 3590, 218–227. DOI: 10.1007/11545163_22
- Kleywegt, A. J., Nori, V. S., & Savelsbergh, M. W. P. (2002). The stochastic inventory routing problem with direct deliveries. *Transportation Science*, 36(1), 94–118. DOI: 10.1287/trsc.36.1.94.574
- Kogan, K., & Tapiero, C. (2009). Book Review: “Supply Chain Games: Operations Management and Risk Valuation.” *International Game Theory Review*, 11(1), 119-119. DOI: 10.1142/s0219198909002182
- Krichanchai, S., & MacCarthy, B. L. (2017). The adoption of vendor managed inventory for hospital pharmaceutical supply. *International Journal of Logistics Management*, 28(3), 755–780. DOI: 10.1108/IJLM-01-2015-0010
- Lee, C., & Chu, W. (2005). Who should control inventory in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, 164(1), 158–172.
- Lin, F., Jia, T., Wu, F., & Yang, Z. (2019). Impacts of two-stage deterioration on an integrated inventory model under trade credit and variable capacity utilization. *European Journal of Operational Research*, 272(1), 219–234. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.06.022
- Lu, Y., & Zhao, L. (2007). VMI service pricing risk and conduction in supply chain system. *Dongnan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 37(SUPPL. 2), 426–429.
- LINDO Systems Inc. (2021). Inventory, Production, and Supply Chain Management. LINDO Systems Inc., Chicago.
- Marchi, B., Zanoni, S., Zavanella, L. E., & Jaber, M. Y. (2019). Supply chain models with greenhouse gases emissions, energy usage, imperfect process under different coordination decisions. *International Journal of Production Economics*, 211, 145–153. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.01.017
- Marques, G., Thierry, C., Lamothe, J., & Gourc, D. (2010). A review of vendor managed inventory (VMI): From concept to processes. *Production Planning and Control*, 21(6), 547–561. DOI: 10.1080/09537287.2010.488937

- McKone-Sweet, K. E., Hamilton, P., & Willis, S. B. (2005). The ailing healthcare supply chain: A prescription for change. *Journal of Supply Chain Management*, 41(1), 4–17. DOI: 10.1111/j.1745-493X.2005.tb00180.x
- Mishra, B. K., & Raghunathan, S. (2004). Retailer- vs. Vendor-managed inventory and brand competition. *Management Science*, 50(4), 445–457. DOI: 10.1287/mnsc.1030.0174
- Mitchell, M. (1998). *An Introduction to Genetic Algorithms*. MIT Press, London: United Kingdom.
- Mustaffa, N. H., & Potter, A. (2009). Healthcare supply chain management in Malaysia: A case study. *Supply Chain Management*, 14(3), 234–243. DOI: 10.1108/13598540910954575
- Nachiappan, S. P., & Jawahar, N. (2007). A genetic algorithm for optimal operating parameters of VMI system in a two-echelon supply chain. *European Journal of Operational Research*, 182(3), 1433–1452. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.09.040
- Neves-Moreira, F., Almada-Lobo, B., Cordeau, J.-F., Guimaraes, L., & Jans, R. (2019). Solving a large multi-product production-routing problem with delivery time windows. *Omega-International Journal of Management Science*, 86, 154–172. DOI: 10.1016/j.omega.2018.07.006
- Onggo, B. S., Panadero, J., Corlu, C. G., & Juan, A. A. (2019). Agri-food supply chains with stochastic demands: A multi-period inventory routing problem with perishable products. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 97, 101970. DOI: 10.1016/j.simpat.2019.101970
- Palit, N., & Brint, A. (2020). A win-win supply chain solution using project contracts with bargaining games. *Operations Research Perspectives*, 7, 100130. DOI: 10.1016/j.orp.2019.100130
- Papageorgiou, L. G., Rotstein, G. E., & Shah, N. (2001). Strategic supply chain optimization for the pharmaceutical industries. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 40(1), 275–286. DOI: 10.1021/ie990870t
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Nia, A. R. (2011). A genetic algorithm for vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2708–2716. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.08.060

- Pentico, D. W., Drake, M. J., & Toews, C. (2009). The deterministic EPQ with partial backordering: A new approach. *Omega*, 37(3), 624–636. DOI: 10.1016/j.omega.2008.03.002
- Ribas, P.C., Yamamoto, L., Polli, H.L., Arruda, L., Neves-Jr., F. (2013). A micro-genetic algorithm for multi-objective scheduling of a real-world pipeline network. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(1), 302–313. DOI: 10.1016/j.engappai.2012.09.020
- Roark, D. (2005). Managing the healthcare supply chain. *Nursing Nursing Management*, 36(2), 36-40.
- Rossetti, M.D., Buyurgan, N., & Pohl, E. (2012). Medical Supply Logistics. In Handbook of Healthcare System Scheduling, Hall, R. (Ed.), Springer New York, NY, pp. 245–280. DOI: 10.1007/978-1-4614-1734-7_10
- Sadeghi, J., Mousavi, S. M., & Niaki, S. T. A. (2016). Optimizing an inventory model with fuzzy demand, backordering, and discount using a hybrid imperialist competitive algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 40(15–16), 7318–7335. DOI: 10.1016/j.apm.2016.03.013
- Salehi Amiri, S. A. H., Zahedi, A., Kazemi, M., Soroor, J., & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2020). Determination of the optimal sales level of perishable goods in a two-echelon supply chain network. *Computers and Industrial Engineering*, 139, 106156. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106156
- Seifbarghy, M., & Gilkalayeh, A. P. (2012). Supply Chain Integration under Vendor Managed Inventory Mode of Operation Considering Stockout. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 46(1), 197–218.
- Seifbarghy, M., Kalani, M. M., & Hemmati, M. (2016). A discrete particle swarm optimization algorithm with local search for a production-based two-echelon single-vendor multiple-buyer supply chain. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(1), 29–43. DOI: 10.1007/s40092-015-0126-6
- Seyyed-Amir, H.S.A., Ali, Z., Morteza, K., Javad, S., & Mostafa, H. (2020). Determination of the optimal sales level of perishable goods in a two-echelon supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106156. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106156.
- Shah, J., & Goh, M. (2006). Setting operating policies for supply hubs. *International Journal of Production Economics*, 100(2), 239–252. DOI: 10.1016/j.ijpe.2004.11.008

- Solano-Payares, C. J., García Barrios, D. A., Mendoza Mendoza, A., & Palencia Castro, D. A. (2020). Modelos de inventario administrado por el Vendedor (VMI): Síntesis de investigación 2012-2017. *Revista EIA*, 17(34), 1–21. DOI: 10.24050/reia.v17i34.1358
- Southard, P. & Swenseth, S. (2008). Evaluating vendor-managed inventory (VMI) in non-traditional environments using simulation. *International Journal of Production Economics*, 116(2), 275-287.
- Stellingwerf, H. M., Kanellopoulos, A., Cruijssen, F. C. A. M., & Bloemhof, J. M. (2019). Fair gain allocation in eco-efficient vendor-managed inventory cooperation. *Journal of Cleaner Production*, 231, 746–755. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.232
- Sue-Ann, G., Ponnambalam, S. G., & Jawahar, N. (2012). Evolutionary algorithms for optimal operating parameters of vendor managed inventory systems in a two-echelon supply chain. *Advances in Engineering Software*, 52, 47–54. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2012.06.003
- Taleizadeh, A. A., & Moshtagh, M. S. (2019). A consignment stock scheme for closed loop supply chain with imperfect manufacturing processes, lost sales, and quality dependent return: Multi Levels Structure. *International Journal of Production Economics*, 217, 298–316. DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.04.010
- Tao, F., Fan, T., & Lai, K. K. (2019). Inventory Management under Power Structures with Consignment Contract Subject to Inventory Inaccuracy. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 66(4), 763–773. DOI: 10.1109/TEM.2018.2850003
- Teng, L., Zhang, Z., Li, P., & Gong, D. (2019). Integrated Inventory-Transportation Problem in Vendor-Managed Inventory System. *IEEE ACCESS*, 7, 160324–160333. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2950036>
- Turhan, S. N., & Vayvay, Ö. (2010). Healthcare supply chain information systems via service-oriented architecture. *Handbook on Business Information Systems*, 3–23. DOI: 10.1142/9789812836069_0001
- Vila-Parrish, A.R., Simmons-Ivy, J., & King, R.E. (2008). A Simulation-Based Approach for Inventory Modeling of Perishable Pharmaceuticals. In Proc. of the 2008 Winter Simulation Conference, Mason et al. (Ed.), December 7-10, Miami, Florida, USA, 1532-1538. DOI: 10.1109/WSC.2008.4736234
- Waller, M., Johnson, E., & Davis, T. (1999). Vendor-Managed Inventory in the retail supply chain. *Journal of Business Logistics*, 20(1), 183-203.

- Watson, N., Serumaga, B., McCord, J. (2012). Selecting and implementing vendor managed inventory systems for public health supply chains: a guide for public sector manager. *USAID DELIVER PROJECT*, Task Order 4, Arlington, VA.
- Yao, Y., Evers, P. T., & Dresner, M. E. (2007). Supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision Support Systems*, 43(2), 663–674. DOI: 10.1016/j.dss.2005.05.021
- Zavanella, L., & Zanoni, S. (2009). A one-vendor multi-buyer integrated production-inventory model: The “Consignment Stock” case. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 225–232. DOI: 10.1016/j.ijpe.2008.08.044