

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE MENCIÓN EN MODELOS
DE OPTIMIZACIÓN”**

TEMA:

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO DE REAPROVISIONAMIENTO
DE LA CATEGORÍA BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS PARA UNA CADENA
DE TIENDAS DE CONVENIENCIAS**

AUTOR:

MANUEL GREGORIO VILLAMAR MENDOZA

Guayaquil – Ecuador

2025

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad el diseño de un modelo matemático de reaprovisionamiento para optimizar la gestión de inventarios de bebidas no alcohólicas en una cadena de tiendas de conveniencia en Ecuador. Se inicia con el análisis del problema de rupturas de stock y sobreinventario, que afectan la rentabilidad y disponibilidad de productos. El objetivo planteado es desarrollar un modelo estocástico basado en análisis de series temporales y programación lineal entera mixta, con el propósito de reducir costos operativos y mejorar la eficiencia logística. La metodología comprende la recopilación y análisis de datos históricos de ventas de tres años, la identificación de patrones de demanda y la simulación de escenarios mediante técnicas de Monte Carlo. Los resultados obtenidos evidencian que la implementación del modelo optimiza la reposición de inventarios, asegura un nivel de servicio superior al 95% y minimiza pérdidas por obsolescencia hasta un 8%. En conclusión, la integración de modelos predictivos en la cadena de abastecimiento permite una gestión más eficiente y adaptable a la variabilidad de la demanda, contribuyendo a la sostenibilidad operativa y a la satisfacción del cliente.

Palabras clave:

gestión de inventarios, optimización logística, modelo estocástico, reaprovisionamiento, demanda incierta.

ABSTRACT

The present study focuses on the design of a mathematical replenishment model aimed at optimizing inventory management for non-alcoholic beverages in a convenience store chain in Ecuador. The research is based on the analysis of stockouts and overstocking issues, which negatively affect profitability and product availability. The objective is to develop a stochastic model, leveraging time series analysis and mixed-integer linear programming, to minimize operational costs and enhance logistical efficiency. The methodology involves the collection and analysis of three years of historical sales data, identification of demand patterns, and scenario simulations using Monte Carlo techniques. The findings indicate that the implementation of the model optimizes inventory replenishment, ensuring a service level exceeding 95% and reducing obsolescence-related losses by up to 8%. The study concludes that integrating predictive models into the supply chain facilitates more efficient management and provides greater adaptability to demand variability, thereby contributing to operational sustainability and customer satisfaction.

KEYWORDS:

inventory management, logistics optimization, stochastic model, replenishment, uncertain demand.

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi esposa por el apoyo incondicional, a mi madre por su esfuerzo y a mi director del trabajo de investigación Ph.D. Pedro Ramos por su dedicación, paciencia y valioso tiempo.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del trabajo de Titulación referido.

Manuel Gregorio Villamar Mendoza

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Heydi Roa López
PRESIDENTE

PhD. Pedro Ramos De Santis
TUTOR

PhD. José Cabezas García
EVALUADOR

AUTOR DEL PROYECTO

Manuel Gregorio Villamar Mendoza

ABREVIATURAS O SIGLAS

EOQ	Economic Order Quantity (Cantidad Económica de Pedido)
ARIMA	AutoRegressive Integrated Moving Average (Modelo autorregresivo Integrado de medias móviles)
SKU	Stock Keeping Unit (Unidad de mantenimiento de stock)
POS	Point of Sale (Punto de Venta)
JIT	Just-In-Time (Justo a Tiempo)
ERP	Enterprise Resource Planning (Planificación de Recursos Empresariales)
AI	Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial)
MIP	Mixed Integer Programming (Programación Entera Mixta)
SS	Safety Stock (Stock de Seguridad)
BIG	Valor grande usado en modelos matemáticos para modelar activaciones de pedidos

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	VI
AUTOR DEL PROYECTO.....	VII
ABREVIATURAS O SIGLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación del problema	4
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis.....	7
1.6 Alcance	7
CAPÍTULO 2	8
2. MARCO TEORICO.....	8
2.1 Marco Conceptual.....	9
2.1.1 Inventario.....	9
2.1.2 Modelos de Inventario	12
2.1.3 Modelos de demanda dependiente e independiente	13
2.1.4 Métodos de validación y evaluación del modelo matemático	22
2.1.5 Interacciones entre las tiendas, proveedores y planner de demanda	23

CAPÍTULO 3	25
3. METODOLOGÍA.....	25
3.1 Enfoque de la Investigación.....	25
3.2 Tipo de Investigación.....	25
3.3 Diseño Metodológico	26
3.3.1 Población y Muestra	26
3.3.2 Recolección de Datos.....	27
3.3.3 Depuración y Análisis Preliminar.....	28
3.4 Análisis Estadístico y Generación de Escenarios	28
3.5 Diseño del Modelo Matemático.....	30
3.6 Validación del Modelo.....	31
3.7 Limitaciones y Consideraciones	31
CAPÍTULO 4	32
4. RESULTADOS	32
4.1 Tendencias y factores determinantes en la evolución de las ventas mensuales	32
4.2 Clasificación ABC	36
4.3 Análisis de tendencia y estacionalidad	38
4.4 Simulaciones de demanda futura	48
4.5 Política de reaprovisionamiento.....	52
4.6 Análisis de los Resultados del Modelo Matemático	54
4.7 Comparación de la propuesta optimizada vs modelo actual.....	64
CAPÍTULO 5	66
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1 CONCLUSIONES	66
5.2 RECOMENDACIONES.....	68
6. Referencias	69
7. ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Interacciones entre Tiendas, Proveedores y Planner.....	23
Figura 4. 1 Ventas Totales por Mes.....	33
Figura 4. 2 Ventas de Productos por Tienda.....	34
Figura 4. 3 Mapa de Calor de Ventas por Tiendas por Mes	35
Figura 4. 4 Mapa de Calor de Ventas por Tiendas por Mes	36
Figura 4. 5 Gráfico de Pareto de Ventas por Producto	37
Figura 4. 6 Ventas del Producto 1 en las 20 Tiendas	40
Figura 4. 7 Descomposición Serie Temporal - Producto 1 en las 20 Tiendas	41
Figura 4. 8 Ventas del Producto 2 en las 20 Tiendas	43
Figura 4. 9 Descomposición Serie Temporal - Producto 2 en las 20 Tiendas	44
Figura 4. 10 Descomposición Serie Temporal - Producto 3 en las 20 Tiendas	45
Figura 4. 11 Pronóstico de la Demanda del Producto 1 en las 20 Tiendas	49
Figura 4. 12 Pronóstico de la Demanda del Producto 2 en las 20 Tiendas	51
Figura 4. 13 Evolución del Inventario del Producto 1 en la Tienda 1	58
Figura 4. 14 Evolución del Inventario del Producto 1 en la Tienda 2	60
Figura 4. 15 Evolución del Inventario del Producto 2 en la Tienda 1	61
Figura 4. 16 Evolución del Inventario del Producto 2 en la Tienda 2	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4. 1 Productos categoría "A", análisis Pareto	37
Tabla 4. 2 Tiendas Categoría "A"	38
Tabla 4. 3 Resultado de Optimización del Producto 1 en Tienda 1	57
Tabla 4. 4 Resultado de Optimización del Producto 1 en Tienda 2	59
Tabla 4. 5 Resultado de Optimización del Producto 2 en Tienda 1	61
Tabla 4. 6 Resultado de Optimización del Producto 2 en Tienda 2	62
Tabla 4. 7 Comparativo de la Situación Actual vs Optimización	64

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de inventarios constituye un pilar fundamental para la operación de cadenas de tiendas de conveniencia, especialmente en categorías de alta rotación como las bebidas no alcohólicas. En un mercado competitivo, optimizar los procesos logísticos no solo incrementa la rentabilidad, sino que también mejora la satisfacción del cliente al garantizar la disponibilidad de productos clave (Hariga, 2007). Sin embargo, desafíos como la estacionalidad en la demanda, limitaciones de espacio de almacenamiento y dependencia de proveedores externos pueden generar rupturas de inventario, resultando en pérdidas económicas significativas (Agrawal, 2013).

En Ecuador, estos problemas se agravan por la ausencia de modelos predictivos en la gestión de inventarios. Las estrategias actuales suelen ser reactivas, lo que dificulta la anticipación a variaciones de demanda, especialmente en periodos de alta rotación como las festividades. Esto da lugar a rupturas de inventarios que afectan la experiencia del cliente y, paralelamente, a acumulaciones innecesarias de productos que incrementan los costos operativos. En contraste, en mercados desarrollados, (Doboriginidze, 2021), este trabajo se enfoca en el diseño de un modelo matemático de reaprovisionamiento adaptado al contexto ecuatoriano, con énfasis en la categoría de bebidas no alcohólicas en tiendas de conveniencia. A partir de datos históricos de ventas de los últimos tres años, se implementan algoritmos de pronóstico en el entorno de programación para minimizar pérdidas por rupturas de inventario y costos asociados al exceso de inventario.

Aunque estudios previos, como el de (Martínez Granados, 2018), han evidenciado que las técnicas avanzadas de modelado pueden mejorar la precisión en el pronóstico de la demanda y eficiencia de la cadena de suministro, existe una carencia de investigaciones específicas que aborden las novedades en este sector. Este trabajo busca abordar esta carencia proporcionando una solución que optimice el reaprovisionamiento, fomente una gestión logística eficiente y mejore la experiencia del cliente en las tiendas de conveniencia del país.

1.1 Antecedentes

El grupo económico donde se enmarca este estudio inició operaciones en Perú en 1874, expandiéndose progresivamente por América Latina a través de diversos sectores de negocio. En 2004 incursionó en el sector retail mediante la apertura de tiendas de conveniencias ubicadas en estaciones de servicio, diseñadas como una estrategia para potenciar las ventas de combustible mediante una oferta complementaria.

En años recientes, este grupo ha implementado una estrategia de diversificación, desarrollando tiendas de conveniencia en ubicaciones estratégicas independientes de las estaciones de servicio, conocidas como “Stand-alone”. Estas tiendas ofrecen una experiencia de marca consistente, adaptándose a diferentes entornos y permitiendo su instalación en locales que cumplen con los estándares de imagen corporativa. Este modelo de operación ha fortalecido la presencia de la empresa, contribuyendo a un crecimiento sostenido en el número de tiendas y estaciones de servicio en la región.

El crecimiento acelerado de las Estaciones de Servicio y Tiendas de Conveniencia del grupo económico ha evidenciado la necesidad de fortalecer sus procesos operativos. El abastecimiento de productos se realiza de manera descentralizada, desde los proveedores, generando ineficiencias en tiempos de reposición, incrementa el riesgo de rupturas de inventario y favorece el sobreinventario.

La falta de herramientas predictivas dificulta la planificación, resultando pérdidas económicas por la obsolescencia de productos y falta de disponibilidad en momentos críticos. Este desbalance entre las ventas y capacidad operativa pone de manifiesto la necesidad de replantear estrategias logísticas para garantizar una gestión eficiente y sostenible. Estos desafíos requieren optimizar la gestión de inventarios mediante un modelo centralizado de acopio. Esto permitirá una distribución eficiente, mantener niveles óptimos de stock y reducir pérdidas. La automatización de operaciones logísticas mejorará los tiempos de respuesta y la adaptabilidad a las fluctuaciones en la demanda.

1.2 Planteamiento del problema

El sector de bebidas no alcohólicas en tiendas de conveniencia ha experimentado un crecimiento sostenido. Impulsado por el aumento en la demanda de productos de consumo masivo y las compras online con entrega a domicilio. No obstante, este crecimiento plantea desafíos operativos en la gestión de inventarios debido a restricciones como la capacidad limitada de almacenamiento y la dependencia de proveedores externos. Estas limitaciones generan problemas recurrentes de rupturas de inventario y sobreinventario, los cuales impactan negativamente tanto en la rentabilidad de la empresa como en la experiencia del cliente.

El análisis de datos de ventas correspondiente a los últimos tres años evidencia patrones de consumo estacional y variaciones significativas en la demanda. Sin embargo, la falta de un modelo matemático eficiente para el reaprovisionamiento ha dificultado el aprovechamiento de esta información para optimizar los niveles de inventario. Este déficit en la gestión ha resultado en la acumulación de productos caducados, limitando el espacio disponible para bebidas con mayor rotación y rentabilidad.

Las principales limitaciones operativas actuales incluyen:

- a) Espacio físico restringido ya que las tiendas cuentan con una capacidad limitada para el almacenamiento, lo que impide mantener inventarios altos.
- b) Dependencia de proveedores externos, donde dependemos de los tiempos de respuesta y la variabilidad en los plazos de entrega
- c) Pérdida de productos por obsolescencias, generando costos adicionales por desperdicio y ocupando espacio valioso.

Estas limitaciones afectan tanto la rentabilidad como la satisfacción de los clientes, quienes enfrentan dificultades para encontrar sus productos preferidos. Para los responsables de la cadena de suministro, el desafío consiste en diseñar un sistema de reaprovisionamiento que considere restricciones de espacio, características de la demanda y los tiempos de entrega de los proveedores, con el objetivo de optimizar las operaciones y mantener la competitividad en un mercado dinámico.

1.3 Justificación del problema

La gestión eficiente de inventarios en la categoría de bebidas no alcohólicas constituye un factor determinante para el éxito de las tiendas de conveniencia. Estas tiendas, al ser puntos clave de acceso para los consumidores, enfrentan desafíos significativos como la estacionalidad de la demanda, la diversidad de productos y las restricciones en la capacidad de almacenamiento (Chopra & Meindl, 2018). Una gestión ineficiente puede derivar en rupturas de inventario o sobreinventario, afectando la rentabilidad, la satisfacción del cliente y la sostenibilidad financiera de los negocios.

Diversos estudios han demostrado que los sistemas de gestión de inventarios basados en modelos matemáticos y análisis de datos históricos contribuyen a la reducción de pérdidas económicas y a la optimización de la disponibilidad de productos (Silver, Pyke, & Thomas, 2016). Este estudio tiene como objetivo principal diseñar un modelo matemático para optimizar el proceso de reaprovisionamiento de bebidas no alcohólicas en una cadena de tiendas de conveniencia, utilizando datos históricos de ventas diarias de los últimos tres años. Este enfoque permitirá identificar patrones de consumo clave como tendencias y estacionalidades para mejorar la planificación y toma de decisiones en la gestión de inventarios.

La implementación de un modelo matemático bien fundamentado tiene el potencial de generar beneficios tangibles. Por ejemplo, la reducción de rupturas de inventario podría disminuir pérdidas de ventas en un 10-15%, según estimaciones de investigaciones similares realizadas en sectores minoristas (Chopra & Meindl, 2018). Asimismo, una optimización efectiva podría minimizar los costos asociados al sobreinventario, que representan entre el 5% y el 8% del capital inmovilizado en inventarios, de acuerdo con estudios de logística aplicada (Christopher, 2022).

Desde una perspectiva social, garantizar la disponibilidad de productos frescos y de calidad mejora la satisfacción del cliente y fortalece la lealtad hacia las tiendas.

Esto resulta fundamental en un entorno competitivo, donde la experiencia del consumidor influye directamente en la fidelización y el crecimiento del mercado.

Además, una gestión eficiente de inventarios promueve la sostenibilidad de las operaciones, incrementando la apertura de nuevas tiendas y contribuyendo al desarrollo económico local a través de la generación de empleo (Stevenson, 2020).

En términos logísticos, el manejo de inventarios en el sector de bebidas no alcohólicas enfrenta retos relacionados con la diversidad del portafolio de productos y la necesidad de acuerdos operativos eficientes con múltiples proveedores. Según investigaciones recientes, el 60% de los problemas en la cadena de abastecimiento minorista están vinculados a la gestión inadecuada de inventarios (Ivanov, Tsipoulanidis, & Schönberger, 2021). Un modelo de reaprovisionamiento eficiente no solo optimiza la disponibilidad de productos, sino que también fortalece la capacidad de negociación con proveedores y racionaliza los procesos operativos.

Desde una perspectiva académica, este trabajo se enmarca en un contexto de creciente interés por la aplicación de modelos matemáticos en la optimización de procesos logísticos y la gestión de inventarios. Los resultados no solo buscan resolver problemáticas específicas del sector, sino también aportar al desarrollo teórico en este campo. Investigaciones previas han destacado el impacto de estos modelos en la reducción de costos y en la mejora de la eficiencia operativa (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2022). Por tanto, este estudio tiene el potencial de generar conocimiento aplicable en diversos contextos logísticos y servir como base para futuras investigaciones.

1.4Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo matemático de reaprovisionamiento que optimice la gestión del inventario en una cadena de tiendas de conveniencia de la categoría bebidas no alcohólicas, a través del análisis de datos históricos de ventas de los últimos tres años, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, reducir costos asociados al manejo de inventarios y aumentar la satisfacción del cliente.

1.4.2 Objetivos específicos

- I. Realizar un análisis estadístico de los datos históricos de ventas de los últimos 3 años para identificar patrones de demanda, estacionalidades y tendencias, que servirán como base para el modelo de reaprovisionamiento.
- II. Evaluar el proceso actual de reaprovisionamiento en la cadena de tiendas de conveniencia, identificando limitaciones y riesgos asociados al quiebre de stock y sobre stock, así como el impacto en la rentabilidad, con el fin de establecer parámetros para el modelo.
- III. Desarrollar un algoritmo predictivo de demanda que optimice la gestión de inventarios, considerando variables como la estacionalidad, promociones y eventos locales.
- IV. Implementar simulaciones del modelo matemático propuesto para evaluar su efectividad en escenarios de reaprovisionamiento y ajustar los parámetros necesarios a partir de los resultados de las simulaciones.
- V. Proponer estrategias de gestión de inventarios basadas en los resultados del modelo, orientadas a minimizar costos y maximizar la disponibilidad de productos para los consumidores.

1.5 Hipótesis

El diseño de un modelo matemático de reaprovisionamiento basado en análisis de series temporales optimizará la gestión de inventarios en la categoría de bebidas no alcohólicas de una cadena de tiendas de conveniencia, reduciendo costos, pérdidas por ruptura de inventario y obsolescencia, y mejorando la disponibilidad de productos y la satisfacción del cliente. La incorporación de variables como estacionalidad y eventos locales aumentará la precisión y adaptabilidad del modelo.

1.6 Alcance

El presente estudio se llevará a cabo en una cadena de tiendas de conveniencia con cobertura nacional en Ecuador, enfocándose en la categoría bebidas no alcohólicas. Se analizarán un conjunto de unidades representativo de unidades de mantenimiento de stock (SKUs) seleccionados para reflejar diversas características demográficas y patrones de consumo.

La investigación empleará datos históricos de ventas correspondientes a un horizonte temporal de tres años, extraídos principalmente de la base de datos del sistema ERP de la empresa y del sistema de punto de venta (POS). Para garantizar representatividad, los SKUs serán seleccionados según criterios como el volumen de ventas, frecuencia de reposición y relevancia estratégica en diferentes puntos de venta. Adicionalmente, se considerarán tiendas con presencia a nivel nacional en el Ecuador,

El análisis se centrará en un grupo de unidades de mantenimiento de stock de la categoría bebidas no alcohólicas para reflejar diferentes características demográficas y patrones de consumo. Incluirán variables contextuales como estacionalidad, promociones y eventos locales, las cuales serán identificadas a través de reportes comerciales internos y análisis históricos. El análisis se realizará utilizando herramientas estadísticas para identificar tendencias, comportamientos recurrentes y variaciones en la demanda, proporcionando una base sólida para el diseño del modelo de reaprovisionamiento.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEORICO

La gestión eficiente de inventarios es fundamental en las cadenas de tiendas de conveniencia, dado que su funcionamiento se caracteriza por una alta rotación de productos, restricción de espacios y la necesidad de adaptarse a demandas variables. Según (Silver, Pyke, & Thomas, 2016), los modelos tradicionales de inventario, como el modelo de cantidad económica de pedido (EOQ), demuestran ser altamente efectivos cuando se implementan junto con restricciones pertinentes al tipo de negocio, tales como el espacio limitado y una demanda que sigue patrones probabilísticos.

La ausencia de un almacén central en tiendas descentralizadas da como resultado un control de inventario manual, ya que cada tienda funciona como un nodo distinto dentro de la red. Los modelos de optimización deben tener en cuenta las interacciones entre nodos para evitar la escasez de productos y el exceso de existencias. Las distribuciones probabilísticas se pueden utilizar para incorporar la incertidumbre en el diseño del modelo, que es un enfoque útil para la demanda de los modelos (Chopra & Meindl, 2018). El uso de modelos de series temporales, como ARIMA, es aconsejable para predecir la demanda con mucha precisión, tanto a corto como a largo plazo (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

El modelo debe incorporar limitaciones específicas, como una capacidad de almacenamiento máxima para cada producto en cada tienda. Estudios anteriores han destacado que los modelos de optimización que incorporan restricciones físicas son más robustos y pueden usarse en escenarios del mundo real (Düsterhöft & Hübner, 2023). Estas restricciones se integran mediante programación lineal o entera, lo que garantiza que las soluciones cumplan con los límites operativos de cada producto en cada tienda.

La entrega directa realizada por los proveedores requiere una optimización muy meticulosa para reducir tanto los costos de transporte como el tiempo de entrega. Estudios indican que los modelos de programación lineal que incluyen limitaciones de tiempo son útiles para asegurar entregas rápidas, sobre todo en operaciones no centralizadas (Falsone, Margellos, & Prandini, 2017). Asimismo, la centralización de la

combinación de pedidos por un planificador puede disminuir la cantidad de entregas y los gastos logísticos involucrados (Mecalux, 2022).

Los modelos estocásticos juegan un papel básico en la gestión de acciones para el reaprovisionamiento de inventarios para cadenas de tiendas de conveniencia, donde la incertidumbre de las demandas y el tiempo de entrega son los problemas más importantes. Estos modelos permiten la optimización de decisiones considerando escenarios probables, lo que resulta en soluciones robustas frente a la variabilidad. Según (Snyder & Shen, 2011), la programación estocástica es efectiva en operaciones descentralizadas con alta rotación de productos, como las tiendas de conveniencia, ya que minimiza costos totales de inventario y transporte mientras se asegura la disponibilidad de productos. Este enfoque es clave para equilibrar costos logísticos y niveles de servicio en entornos con demanda altamente fluctuante.

El uso de simulaciones Monte Carlo para validar políticas de inventario bajo incertidumbre es ampliamente recomendado en la literatura. Estas simulaciones permiten evaluar el impacto en varios escenarios, como variaciones en la demanda o retrasos en las entregas, mejorando la robustez del modelo (Shapiro & Homem-de-Mello, 1998).

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 Inventario

Es un activo importante en las operaciones empresariales, facilita el control efectivo de las mercancías que ingresan y salen de los almacenes. Una adecuada administración permite a las empresas determinar el stock necesario para satisfacer la demanda, asegurando la continuidad operativa y la satisfacción del cliente. El inventario es una herramienta eficaz en la gestión administrativa del almacén, cuya función principal es la recepción y entrega de documentación y mercancías.

El rol del inventario es fundamental en la estructura logística de una empresa, ya que influye en la mayoría de las operaciones, independiente de su actividad

económica o tamaño. Una gestión adecuada del inventario permite un mayor control en la fabricación y comercialización de productos. (Heizer & Render, 2008), identifican cuatro funciones principales del inventario:

1. Responder a fluctuaciones inesperadas de la demanda: Mantener un stock de seguridad es vital para enfrentar variaciones imprevistas en la demanda. El stock de seguridad asegura que la empresa pueda satisfacer las necesidades del cliente sin retrasos, incluso en situaciones de picos inesperados.

Un ejemplo práctico: Durante la pandemia de COVID-19, muchas empresas de productos de higiene personal, como papel higiénico y desinfectantes, experimentaron una demanda súbita e inesperada. Empresas como Procter & Gamble incrementaron su inventario de estos productos estratégicamente para evitar rupturas de stock, garantizando así la continuidad de su suministro y manteniendo la satisfacción del cliente.

Caso de Estudio: Toyota y el Sistema Just-In-Time (JIT): Toyota es reconocida por su implementación del sistema JIT, que minimiza el inventario almacenado. Sin embargo, durante la crisis de suministro global provocada por desastres naturales o pandemias, Toyota ajustó su estrategia incorporando inventarios de seguridad para ciertos componentes críticos, equilibrando la eficiencia del JIT con la necesidad de flexibilidad ante fluctuaciones de demanda.

2. Obtener descuentos por volumen: La compra en grandes cantidades puede resultar en descuentos por volumen, lo que reduce los costos unitarios y optimiza los tiempos de reaprovisionamiento. Sin embargo, esto debe equilibrarse con la capacidad de almacenamiento y la demanda prevista para evitar excesos de inventario.

Ejemplo Práctico: Una cadena de restaurantes como McDonald's negocia con sus proveedores para comprar ingredientes en grandes volúmenes, lo que les permite obtener descuentos significativos. Estos ahorros en costos se trasladan a menores precios para los consumidores o a mayores márgenes de beneficio para la empresa.

Caso de Estudio: Walmart y su Estrategia de Compras en Volumen: Walmart es un ejemplo destacado de una empresa que maximiza los descuentos por volumen. Su enorme poder de compra le permite negociar precios más bajos con los proveedores, lo que se refleja en precios competitivos para sus clientes finales. Además, Walmart utiliza su infraestructura logística avanzada para manejar grandes volúmenes de inventario de manera eficiente.

3. Almacenamiento para demandas anticipada: Mantener inventarios anticipados permite a las empresas prepararse para aumentos estacionales o proyectados en la demanda, garantizando la disponibilidad de productos en momentos clave.

Ejemplo Práctico: Durante la temporada navideña, empresas de juguetes como Hasbro incrementan su inventario para satisfacer el aumento en la demanda. Al anticipar las ventas estacionales, pueden asegurar que sus productos estén disponibles en las tiendas cuando los consumidores los buscan.

Caso de Estudio: Zara y su Gestión de Inventarios Anticipados: Zara, una de las principales marcas de moda rápida, utiliza un sistema de inventario que le permite anticipar tendencias y preparar stock en función de la demanda proyectada. Esto le permite responder rápidamente a las cambiantes preferencias del mercado, manteniendo la disponibilidad de productos relevantes en sus tiendas.

El resumen, el inventario no solo representa un activo clave en las operaciones empresariales, sino que también desempeña funciones críticas que contribuyen a la eficiencia operativa y al objetivo estratégico de la organización.

2.1.2 Modelos de Inventario

Modelos Determinísticos

Los modelos determinísticos de inventario se caracterizan por suponer que la demanda es conocida y constante. Este enfoque resulta útil en contextos donde la información histórica, los pronósticos precisos o los pedidos reales de los clientes permiten prever la demanda con certeza. Entre los modelos determinísticos más relevantes se encuentra el modelo de cantidad económica de pedido (EOQ por sus siglas en inglés)

Modelos de Cantidad Económica de Pedido (EOQ)

El modelo EOQ también conocido como modelo de Wilson, es una metodología ampliamente utilizada en la gestión de inventarios para minimizar los costos asociados al mantenimiento de stock y los pedidos en un almacén. Este enfoque ayuda a determinar la cantidad óptima que debe solicitarse a los proveedores y el momento adecuado para realizar el pedido, con el objetivo de reducir costos operativos.

El EOQ es particularmente útil cuando la demanda de un producto es constante o casi constante y los pedidos llegan en el momento requerido. Sin embargo, para su aplicación, se deben cumplir ciertas suposiciones:

1. Demanda constante y conocida: se asume que la tasa de demanda del producto no varía con el tiempo.
2. Ausencia de pedidos en espera o inexistencias: Todos los pedidos deben ser entregados y almacenados en su totalidad.
3. Sin descuentos por cantidad: El precio del artículo permanece constante, independiente de la cantidad pedida.
4. Tamaño del lote sin restricciones: No existen limitaciones físicas o económicas para el tamaño del pedido.

5. Tiempo de espera constante: El tiempo necesario para recibir un pedido es fijo y conocido.
6. Costos variables definidos: Los costos relevantes son únicamente el costo por realizar pedidos y el costo por mantener inventarios:

La fórmula fundamental del Modelo EOQ se expresa como:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (2.1)$$

Donde:

D: Demanda anual del producto

S: Costo de realizar un pedido

H: Costo de mantener una unidad de inventario durante un periodo específico.

El modelo EOQ permite calcular la cantidad óptima de pedido que minimiza los costos totales de inventario, combinando el costo por realizar pedidos con el costo de almacenamiento. Este enfoque es aplicable en sistemas de inventario con demanda independiente, como lo destaca (Silver, Pyke, & Thomas, 2016).

Los modelos EOQ tienen su aplicación en la industria automotriz para gestionar el inventario de componentes críticos como tornillos y tuercas. Al mantener niveles óptimos, reduce costos y asegura que la línea de producción no se detenga por falta de piezas.

Las cadenas de supermercados revisan sus niveles de inventario de productos perecibles cada semana. Basándose en las ventas anteriores realiza pedidos que aseguren que siempre haya suficiente stock sin exceso que puedan llevar a desperdicios.

2.1.3 Modelos de demanda dependiente e independiente

Demanda dependiente: Se refiere a productos cuya demanda está vinculada directamente a la de otros artículos. Por ejemplo, si las tiendas ofrecen combos de bebidas y snack, la demanda de las bebidas puede depender de la venta del combo.

Demanda independiente: La demanda no está influenciada por otros productos. Este tipo de demanda es más común en bebidas no alcohólicas, ya que los clientes suelen comprarlas por separado.

Modelos Estocásticos

Los modelos matemáticos estocásticos son herramientas fundamentales para representar sistemas o procesos con incertidumbre, describiendo matemáticamente aquellos en los que una o más variables presentan comportamientos aleatorios. Estos modelos integran elementos probabilísticos para predecir resultados, considerando tanto la variabilidad inherente como el comportamiento promedio de los sistemas (Ross, 2014).

Las características claves de los modelos estocásticos son:

Aleatoriedad: Las variables no son determinísticas y pueden seguir distribuciones probabilísticas como normal, Poisson, uniforme, entre otras.

Dinamismo: Pueden modelar sistemas que evolucionan con el tiempo o que son estáticos.

Robustez: Permiten analizar sistemas complejos con incertidumbre inherente, como demanda de productos, precios de mercado, o condiciones climáticas.

Los elementos de un modelo estocástico son:

Variables aleatorias: Representan los elementos inciertos del modelo.

Distribución de probabilidad: Define la forma en que las variables aleatorias toman sus valores.

Función Objetivo: Representa el objetivo del modelo, como minimizar costos o maximizar ganancias.

Restricciones: Condiciones que deben cumplirse dentro del sistema modelado.

Tipos de modelos estocásticos

Modelos Estáticos

Estos modelos analizan sistemas en un solo periodo de tiempo. Ejemplo: Modelos de optimización bajo incertidumbre para inventarios en un período específico.

Procesos estocásticos

Modelan sistemas que evolucionan en el tiempo.

Cadenas de Markov. Sistemas donde la probabilidad futura depende solo del estado actual.

Procesos de Poisson: Modelan eventos que ocurren de manera aleatoria a lo largo del tiempo (Ross, 2014).

Programación estocástica: Incorpora incertidumbre en la función objetivo o en las restricciones. Ejemplo: Modelos de programación lineal estocástica utilizados en logística y cadenas de suministro.

Métodos de solución y simulación

a) Simulación Monte Carlo: Utiliza generación de valores aleatorios para evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios.

Las simulaciones Monte Carlo se integrarán como una herramienta para evaluar la robustez del modelo estocástico desarrollado. Este enfoque permite analizar múltiples escenarios probabilísticos generados a partir de distribuciones de demanda histórica y estacional obtenidas mediante ARIMA o suavizamiento exponencial. Los pasos principales incluyen:

Generación de Escenarios Probabilísticos: Usar distribuciones ajustadas a los datos históricos para simular posibles valores de demanda futura.

Evaluación del Modelo de Optimización Estocástica: Para cada escenario generado, se evalúa la solución óptima bajo las restricciones definidas, como balance de inventarios y no negatividad.

Análisis de Resultados: Comparar los costos totales esperados y el nivel de servicio para identificar soluciones robustas frente a la incertidumbre.

Este proceso permite identificar estrategias de reaprovisionamiento que minimicen el costo total mientras se garantizan altos niveles de servicio en un entorno de demanda fluctuante.

En el ámbito financiero, las simulaciones de Monte Carlo se han utilizado ampliamente para la valoración de derivados y la gestión de riesgos. Por ejemplo, el estudio de (Boyle, 1977) introdujo un enfoque de simulación para la valoración de opciones, que ha sido fundamental en el desarrollo de modelos financieros modernos. Además, (Hull & White, 1993) aplicaron estas técnicas para modelar la evolución de las tasas de interés, permitiendo una mejor gestión de carteras y estrategias de cobertura.

En el campo de la medicina, especialmente en la planificación de tratamientos de radioterapia, las simulaciones de Monte Carlo han permitido optimizar las dosis de radiación para maximizar la destrucción de células cancerígenas mientras se minimiza el daño a tejidos sanos. El trabajo de (Singh, Malik, & Mohan, 2004) ilustró cómo estas simulaciones mejoran la precisión en la dosimetría clínica, contribuyendo a tratamientos más efectivos y seguros.

- b) Análisis de sensibilidad. Determina como las variables de entrada afectan los resultados del modelo.
- c) Solución analítica. Aplica técnicas matemáticas para resolver modelos con distribuciones conocidas

La aplicación de los modelos estocásticos en:

Cadena de suministros

- a) Predicción de demanda
- b) Optimización de inventarios bajo incertidumbre
- c) Diseño de redes logísticas

En logística existe amplia aplicación de modelos de optimización, que ayudan a mejorar la eficiencia de toda la cadena de valor. Varios modelos matemáticos y técnicas de optimización aplicados en gestión eficiente de inventarios, planificación eficiente de transporte, distribución de producto desde almacén hasta los clientes y asignación eficiente de recursos.

Los modelos clásicos que se utilizan para la optimización logística pueden ser:

- a) Programación lineal: Se utiliza generalmente en la asignación de recursos logísticos para minimizar los costos y buscar una óptima red de distribución.
- b) Programación entera mixta: Se utilizan en problemas frecuentes de ruteo de vehículos y localización eficiente de almacenes y para diseñar redes de distribución.
- c) Modelos metaheurísticos: Se utilizan con mayor frecuencia en problemas complejos de ruteo de vehículos y también en planeación de producción.

- d) Modelos de simulación: se utilizan para simular varios escenarios que permiten analizar comportamientos de la cadena de abastecimiento sin necesidad de hacer cambios reales.

En los últimos años han existido avances en los modelos de optimización y que se consideran que son mas sofisticados y que incluso integran AI y big data para tomar decisiones. Técnicas conocidas y que cada vez se están aplicando en logística incluyen:

- a) Optimización estructurada mediante aprendizaje automático: Se utiliza para predecir la demanda y optimizar rutas de distribución mediante el uso de redes neuronales.
- b) Optimización de multiobjetivo: Se utilizan en situaciones donde se requiere un balance entre costos, tiempos de entrega y sostenibilidad.
- c) Optimización en tiempo real: Se utilizan para ajustar las decisiones en base a información de datos obtenidos en vivo gracias a sensores y sistemas de posicionamiento global.

Estos modelos buscan abordar los problemas en la logística de forma más dinámicas y siendo más eficiente para lograr los objetivos y cubrir las necesidades de las empresas.

Finanzas

- a) Valoración de opciones financieras.
- b) Análisis de riesgos de inversión.
- c) Modelado de precios de activos.

Manufactura

- a) Control de calidad estadístico.
- b) Modelado de tiempos de espera y capacidad.

Salud y Ciencias

- a) Modelado de epidemias.
- b) Análisis de datos clínicos.
- c) Predicción de fenómenos naturales.

Ventajas y limitaciones

Ventajas

- a) Manejan la incertidumbre de manera efectiva.
- b) Prevén resultados probabilísticos que ayudan en la toma de decisiones.
- c) Son flexibles y adaptables a diversos dominios.

Limitaciones

- a) Requieren datos de calidad para definir distribuciones de probabilidad.
- b) Su complejidad computacional puede ser alta.
- c) Interpretar resultados probabilísticos puede ser desafiante para no especialistas.

Los modelos estocásticos representan un puente conceptual entre la teoría de la probabilidad y su aplicación práctica en sistemas reales, integrando incertidumbre y optimización para ofrecer soluciones viables a problemas complejos en entornos inciertos. Estos modelos son especialmente relevantes en el contexto de la logística y la gestión de cadenas de suministro, donde las fluctuaciones en la demanda y otros factores externos generan desafíos significativos. Considerando las necesidades específicas de una cadena de tiendas de conveniencia y analizando tanto la información histórica disponible como las proyecciones de crecimiento, se identificó que el modelo matemático más adecuado para abordar esta problemática es un modelo estocástico.

Este enfoque permite evaluar el comportamiento del reaprovisionamiento en el tiempo, adaptándose a la realidad operativa de las tiendas mediante la incorporación de restricciones ajustadas a sus características particulares.

El objetivo principal de este modelo estocástico es determinar decisiones óptimas de reaprovisionamiento en un entorno de demanda incierta. La incertidumbre en la demanda constituye un desafío crítico en la logística, ya que afecta tanto la disponibilidad de productos como los costos operativos.

Para abordar esta problemática, el modelo propuesto emplea un enfoque integral que combina técnicas de análisis probabilístico y optimización matemática, asegurando soluciones robustas y eficientes que se adaptan a las condiciones reales del sistema. Para cumplir con los objetivos planteados y abordar de manera integral la incertidumbre en la demanda, el modelo estocástico propuesto se estructura en los siguientes componentes fundamentales:

- Modelos de series temporales para la generación de escenarios de demanda, permitiendo predecir patrones históricos y estacionales.
- Un modelo de optimización estocástica que evalúa las decisiones bajo múltiples escenarios, considerando restricciones logísticas y costos asociados.

El enfoque garantiza decisiones robustas y fundamentadas, minimizando los costos totales mientras se mantiene un nivel adecuado de servicio al cliente.

Un ejemplo destacado en logística y transporte se encuentra en los modelos de inventario bajo demanda estocástica, donde se emplean estrategias como los sistemas de stock de seguridad y puntos de reorden para gestionar inventarios en situaciones con demanda y tiempos de entrega inciertos. Una aplicación práctica de esto es el caso de una cadena de supermercados que utiliza simulación Monte Carlo para determinar las cantidades óptimas de reabastecimiento. Este enfoque permite abordar la variabilidad en la demanda diaria y los retrasos en la entrega, lo que resulta en una reducción de los costos de almacenamiento y un menor riesgo de desabastecimiento.

Otro caso relevante se observa en el sector financiero, particularmente en el uso del modelo de Black-Scholes para el cálculo de precios de opciones. Este modelo se basa en ecuaciones diferenciales estocásticas que consideran la volatilidad del mercado para predecir el comportamiento futuro de los activos financieros. Un ejemplo práctico es su aplicación por parte de empresas de inversión para evaluar contratos de derivados financieros, simulando escenarios de alta volatilidad en el mercado accionario y ayudando a los inversores a tomar decisiones informadas sobre la gestión de riesgos (Black & Scholes, 1973).

En el sector farmacéutico, se emplearon modelos de reaprovisionamiento estocástico para gestionar medicamentos de alta rotación y productos estacionales. Estos modelos consideraron tanto la variabilidad de la demanda como las posibles interrupciones en la cadena de suministro debido a factores externos como huelgas o desastres naturales. Como resultado, la empresa pudo ajustar sus niveles de seguridad de inventario, reduciendo el desabastecimiento en un 20% durante períodos críticos y optimizando la disponibilidad de medicamentos esenciales para los clientes (Silver et al., 2017).

Notación del modelo estocástico

1. Índices

- i : Índice de productos, $i = 1, \dots, 100$.
- j = Índice de tiendas, $j = 1, \dots, 80$.
- t = Índice de períodos de tiempo, $t = 1, \dots, T$.
- s = Conjunto de escenarios de demanda, $s = 1, \dots, |S|$.

2. Parámetros

- d_{ijt}^s : Demanda del producto i en la tienda j en el período t bajo el escenario s .
- P_{ijt}^s : Probabilidad asociada al escenario s en el período t .
- C_i : Costo unitario de pedido y de transporte por unidad del producto i
- H_i : Costo de mantenimiento por unidad de inventario del producto i
- b_i : Costo de desabastecimiento del producto i
- K_{ij} : Capacidad máxima de almacenamiento (en unidades) para el producto i en la tienda j .

3. Variables de Decisión

- x_{ijt} : Cantidad de producto i enviada a la tienda j en el período t .
- I_{ijt} : Inventario del producto i en la tienda j al final del período t en el escenario s

Se utilizan modelos de series temporales ARIMA o de suavizamiento exponencial, para capturar patrones históricos y generar escenarios de demanda probabilísticos:

ARIMA: Modela tendencias y estacionalidades en datos con patrones ajustados.
Suavizamiento exponencial: Ideal para datos con estacionalidades marcadas donde la demanda varía significativamente en ciclos repetitivos.

Los modelos generan escenarios probabilísticos o simulaciones de demanda para cada producto y tienda, permitiendo capturar la variabilidad inherente:

Modelo de Optimización Estocástica

Función Objetivo

Minimizar el costo total esperado, que incluye costos de transporte y mantenimiento

$$\min \sum_{s \in S} p_{ijt}^s \left[\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{100} \sum_{j=1}^{80} (C_i x_{ijt} + H_{ij} I_{ijt}) \right] \quad (2.2)$$

Restricciones:

1. Balance de Inventario: Garantiza el flujo correcto de productos:

$$I_{ij(t-1)} + x_{ijt} - d_{ijt}^s = I_{ijt}, \quad \forall i, j, t, s, \quad (2.3)$$

2. No Negatividad de envíos: Asegura que las cantidades enviadas sean no negativas:

$$x_{ijt} \geq 0, \quad \forall i, j, t, \quad (2.4)$$

3. No Negatividad de inventarios: Garantiza que los inventarios sean no negativos:

$$I_{ijt} \geq 0, \quad \forall i, j, t. \quad (2.5)$$

4. Capacidad de almacenamiento: Esta restricción garantiza que el inventario no exceda la capacidad máxima de almacenamiento en cada tienda.

$$I_{ijt} \leq K_{ij}, \quad \forall i, j, t. \quad (2.6)$$

Justificación del modelo

1. Reducción de costos: La función objetivo equilibra costos de transporte e inventarios para minimizar el costo total.
2. Nivel de servicio: Asegura la disponibilidad de productos clave, mejorando la satisfacción del cliente.
3. Toma de decisión robusta: El uso de escenarios probabilísticos mejora la confiabilidad de las decisiones frente a la incertidumbre.
4. Flexibilidad: El modelo se adapta a cadenas de suministro complejas con múltiples puntos de ventas y productos.
5. Espacio limitado: refleja la capacidad física de almacenamiento en las tiendas, considerando que el espacio es limitado y los productos están mayoritariamente en perchas de exhibición.
6. Priorización de Productos: La limitación de espacio fuerza una selección más eficiente de productos enviados y almacenados en cada tienda.

Este marco combina análisis de series temporales y optimización estocástica, generando decisiones robustas y eficientes para cadenas de suministro con alta incertidumbre en la demanda como el caso de este estudio.

2.1.4 Métodos de validación y evaluación del modelo matemático

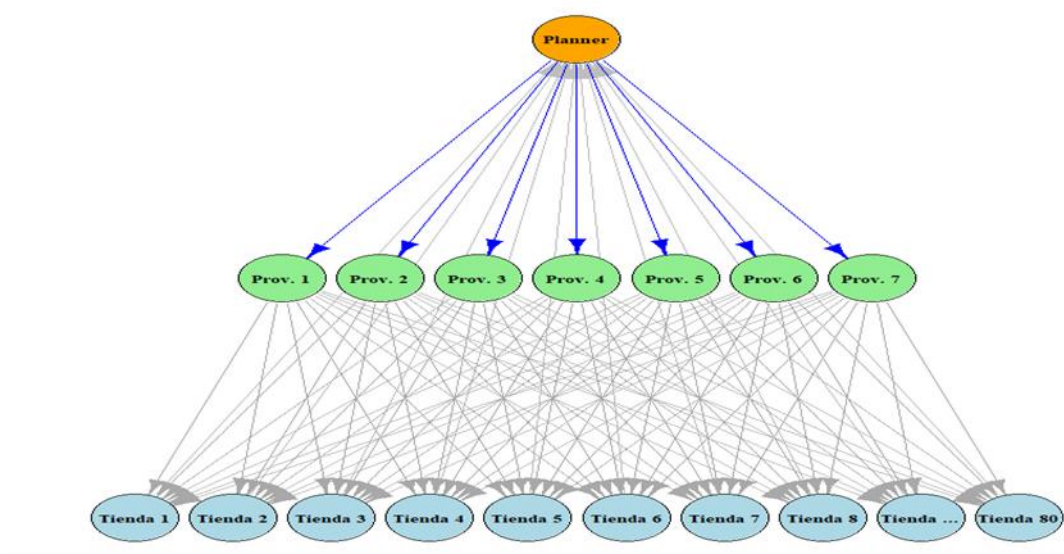
La validación del modelo matemático se llevará a cabo mediante un enfoque estructurado que combine análisis interno y evaluación externa, asegurando su aplicabilidad en escenarios reales. En una primera etapa, se realizará una validación interna para verificar que las ecuaciones, restricciones y parámetros sean consistentes con los fundamentos teóricos y las condiciones operativas de la cadena de suministro. Esto incluirá pruebas computacionales que permitan identificar posibles inconsistencias y garantizar que las soluciones generadas sean viables y coherentes con las restricciones establecidas. Posteriormente, se procederá a la validación externa, contrastando el desempeño del modelo con datos históricos de ventas, inventarios y costos.

Este proceso permitirá evaluar su capacidad para reproducir las dinámicas observadas en la operación de las tiendas. Además, como se lo ha mencionado antes, se emplearán simulaciones Monte Carlo basadas en modelos de series temporales como ARIMA y suavizamiento exponencial, con el objetivo de analizar cómo el modelo responde ante incertidumbres y variaciones en la demanda.

Para evaluar su efectividad, el modelo será comparado con alternativas como el EOQ y otros enfoques estocásticos simplificados, utilizando métricas clave como costos totales, nivel de servicio y flexibilidad ante cambios en las condiciones operativas. Indicadores como el error medio absoluto (MAE), la reducción porcentual en costos y la tasa de rupturas de stock permitirán medir tanto la precisión del modelo como su impacto en la toma de decisiones. Este enfoque busca garantizar que el modelo no solo sea teóricamente sólido, sino también práctico y eficaz en la optimización de inventarios y mejora del nivel de servicio.

2.1.5 Interacciones entre las tiendas, proveedores y planner de demanda

Figura 2. 1 Interacciones entre Tiendas, Proveedores y Planner



Fuente: Elaboración Propia, 2025

La red logística de interacción representada en la figura 2.1, se muestra el flujo de inventarios y las interacciones entre cada nodo que serían las tiendas, el planner de la demanda de cada una de las tiendas y los proveedores, que son los que realizan la entrega en cada una de las tiendas. Las tiendas registran las ventas diarias en su sistema de facturación y el planner actúa como el núcleo central que coordina las operaciones en base a las ventas de cada día y realiza los pedidos a los proveedores, que a su vez realizan las entregas en cada uno de los sitios de acuerdo con las ordenes de compras emitidas por el planner. Este flujo bidireccional asegura una gestión eficiente del inventario, optimizando la disponibilidad de productos y minimizando los costos asociados a la cadena de suministro. La red refleja un modelo de coordinación centralizada, donde el planner desempeña un rol crítico en la planificación y el equilibrio entre la oferta y la demanda.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de la presente investigación es predominantemente cuantitativo, fundamentado en la necesidad de analizar datos históricos y modelar comportamientos logísticos mediante herramientas matemáticas. Este enfoque es idóneo para cumplir con los objetivos de diseñar un modelo de reaprovisionamiento y validar su efectividad en la optimización de costos de inventarios. La selección de este enfoque se sustenta en su capacidad para generar resultados precisos y replicables, así como para evaluar escenarios complejos y adaptativos en la cadena de suministro de bebidas no alcohólicas.

La elección del enfoque cuantitativo también responde a la necesidad de aplicar técnicas estadísticas y metodologías de modelación para optimizar la gestión de inventarios. Estas herramientas se consideran fundamentales para la toma de decisiones en ambientes logísticos complejos, como el de las tiendas de conveniencia, caracterizadas por alta rotación de productos y fluctuaciones significativas en la demanda.

3.2 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo aplicada, dado que tiene como objetivo principal resolver un problema específico relacionado con la gestión de inventarios de bebidas no alcohólicas. Además, se clasifica como descriptiva y correlacional:

-Descriptiva: Al caracterizar el comportamiento de la demanda y las operaciones logísticas actuales, proporcionando una visión detallada de las limitaciones y oportunidades del sistema de reaprovisionamiento actual.

-Correlacional: Al explorar las relaciones entre variables como la estacionalidad, el volumen de ventas, la capacidad de almacenamiento y los tiempos de entrega, para determinar su impacto en la eficiencia operativa.

La investigación también incluye elementos exploratorios, ya que busca identificar patrones ocultos en los datos históricos y proponer soluciones innovadoras adaptadas al contexto ecuatoriano. Este enfoque permite abordar las especificidades del mercado local y generar estrategias optimizadas.

3.3 Diseño Metodológico

El diseño metodológico es de tipo explicativo, ya que busca identificar y analizar las relaciones entre las variables clave que afectan la gestión de inventario, tales como patrones de demanda, estacionalidad y restricciones operativas. Adicionalmente, es descriptivo, dado que detalla las características del sistema logístico actual y las limitaciones operativas de la cadena de tiendas de conveniencia en el Ecuador.

3.3.1 Población y Muestra

- Población: Comprende todas las tiendas de conveniencia de la cadena bajo estudio, distribuidas en varias provincias del Ecuador. Estas tiendas representan un sistema descentralizado de reaprovisionamiento, caracterizado por diferentes patrones de consumo y restricciones logísticas.

-Muestra: Se seleccionaron las 80 tiendas con mayor volumen de ventas y representatividad geográfica. El criterio de selección se basó en:

- Volumen de ventas anual.
- Frecuencia de reposición.
- Ubicación estratégica en zonas urbanas y periurbanas.

-Productos analizados: Se incluyeron 100 SKU de bebidas no alcohólicas clasificadas como prioritarias, según su rotación y contribución al ingreso total de las tiendas. Por limitaciones del programa utilizado, el estudio se realizó con una submuestra de 20 tiendas y 20 productos representativos.

3.3.2 Recolección de Datos

Los datos utilizados en esta investigación provienen del sistema de facturación de la empresa. Este sistema recopila datos detallados de ventas diarias por tienda y por SKU, lo que permite un análisis granular y representativo del comportamiento de la demanda.

Detalle de la base de datos:

- **Nombre:** Histórico de Ventas SKU Bebidas No Alcohólicas.
- **Fuente:** Sistema de facturación de la empresa
- **Periodo analizado:** enero 2021 - diciembre 2024.
- **Unidades de observación:** Transacciones diarias desglosadas por SKU y tienda.
- **Número de registros:** Aproximadamente 87,000 registros.
- **Variables principales:**
 - SKU (descripción del producto).
 - Fecha de venta.
 - Cantidad vendida.
 - Identificación de la tienda.

Procedimiento de recolección y consolidación:

1. Extracción de datos desde el sistema de facturación.
2. Consolidación de tres años de ventas diarias mediante Power Query en Excel.
3. Validación de la coherencia de los datos mediante comparaciones con reportes de ventas.
4. Generación de una base de datos única y estructurada para el análisis.

3.3.3 Depuración y Análisis Preliminar

Antes de proceder al análisis estadístico, se realizó una depuración completa de los datos para garantizar su calidad y relevancia. Esta fase es fundamental para el estudio, ya que la validez de los resultados depende en gran medida de la precisión y consistencia de los datos utilizados. A continuación, se detallan las etapas clave de este proceso:

- **Eliminación de duplicados.** Se identificaron y removieron registros repetidos que podrían distorsionar el análisis, asegurando que cada observación sea única y representativa.
- **Identificación y corrección de valores atípicos.**
- Ajuste de datos inconsistentes.
- Normalización de las unidades de medida.

3.4 Análisis Estadístico y Generación de Escenarios

Se utilizó una combinación de técnicas descriptivas, inferenciales y visualizaciones gráficas para extraer información clave que permita tomar decisiones estratégicas en el reaprovisionamiento. A continuación, se describen las técnicas aplicadas:

Medidas descriptivas

- Media, mediana y moda para identificar tendencias centrales.
- Desviación estándar y rango Inter cuartil para medir la variabilidad.
- Gráficos de cajas y bigotes para detectar valores atípicos.

Análisis de estacionalidad:

- Identificación de picos de demanda durante festividades nacionales y promociones.
- Descomposición de series temporales para separar componentes de tendencia, estacionalidad y ruido.
- Diagramas de calor para visualizar patrones de demanda a lo largo del tiempo.

Análisis de correlación:

- Cálculo de coeficientes de correlación para determinar relaciones entre variables como meses, eventos especiales y volumen de ventas.

Generación de demanda simulada

La base de datos consolidada fue importada al software R, donde se generaron 100 simulaciones o escenarios de demanda para un periodo proyectado de 7 días, contruidos mediante distribuciones probabilísticas ajustadas a los datos históricos, incorporando la variabilidad y estacionalidad observadas; posteriormente, se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de los cambios en la demanda sobre las decisiones de reaprovisionamiento. Para complementar el análisis, se elaboraron visualizaciones que permiten una interpretación más clara y detallada de los resultados. En primer lugar, se utilizaron series temporales para representar la evolución de la demanda a lo largo del periodo proyectado, lo que facilitó la identificación de tendencias y patrones estacionales.

Se emplearon diagramas de dispersión para explorar posibles correlaciones entre variables clave, aportando información sobre las relaciones subyacentes en los datos.

Se incluyeron gráficos de barras apiladas que permiten comparar el desempeño de la demanda entre diferentes tiendas, ofreciendo una perspectiva comparativa que enriquece la toma de decisiones estratégicas.

Estas visualizaciones no solo refuerzan los hallazgos del análisis, sino que también proporcionan una base sólida para la interpretación y comunicación de los resultados y sus correlaciones.

3.5 Diseño del Modelo Matemático

El modelo propuesto se basa en la programación lineal entera mixta, que permite optimizar las decisiones de reaprovisionamiento bajo restricciones operativas, esta metodología combina variables continuas y enteras que resuelven problemas complejos de tomas de decisiones con restricciones que cumplir.

Este modelo fue seleccionado por la capacidad para manejar problemas de gran escala para la gestión de inventarios en un entorno dinámico como las tiendas de conveniencia y por que es un modelo que tiene las siguientes características:

- Flexibilidad porque permite incorporar variables continuas como variables binarias de reaprovisionamiento.
- Eficiencia en la optimización para minimizar los costos totales incurridos en cada pedido, al mismo tiempo que se incluyen las restricciones operativas
- Adaptabilidad a complejos escenarios para manejar la estacionalidad, la variabilidad de la demanda como en las tiendas de conveniencia donde los patrones de consumos pueden cambiar rápidamente.

Estructura del modelo:

1. **Función objetivo:** Minimizar los costos totales asociados al pedido, almacenamiento y desabastecimiento.

2. Restricciones:

- Capacidad de almacenamiento.
- Tiempos de entrega de proveedores.
- Pedido mínimo.
- Punto de reorden.

3. Parámetros:

- Demanda proyectada basada en los escenarios generados.
- Costo unitario de almacenamiento y pedido.
- Variabilidad de la demanda.

Herramientas utilizadas:

- R para análisis estadístico y simulaciones.
- GAMS para la implementación y solución del modelo matemático.
- Power Query en Excel para la consolidación y limpieza inicial de los datos.

3.6 Validación del Modelo

Para evaluar la robustez del modelo, se realizaron simulaciones Monte Carlo que permitieron analizar su desempeño bajo escenarios de alta incertidumbre. Se evaluaron indicadores clave como:

- Costos totales.
- Nivel de servicio.
- Tiempo promedio de reaprovisionamiento.

3.7 Limitaciones y Consideraciones

Entre las limitaciones del estudio se encuentran la dependencia de datos históricos, que podrían no reflejar condiciones futuras, y la variabilidad inherente de la demanda, que podría requerir ajustes constantes en el modelo. Sin embargo, las herramientas utilizadas y la metodología aplicada garantizan un alto grado de confiabilidad en los resultados obtenidos.

Adicionalmente, es importante señalar que el entorno computacional utilizado en el desarrollo del modelo, específicamente RStudio y GAMS, presenta ciertas limitaciones estructurales y operativas que condicionan la implementación de la metodología propuesta. En particular, la modelización estocástica se restringió a la consideración de solo tres variables debido a restricciones computacionales. Para mitigar esta limitación, se optó por estructurar un bucle sobre la variable *s*, permitiendo almacenar múltiples escenarios y, de este modo, capturar de manera más representativa la incertidumbre asociada a la demanda.

A pesar de estas limitaciones, la robustez del enfoque metodológico aplicado, en conjunto con el uso de técnicas avanzadas de pronóstico y optimización, garantiza un alto grado de confiabilidad y aplicabilidad de los resultados obtenidos dentro del contexto de gestión de inventarios y planificación de abastecimiento.

CAPÍTULO 4

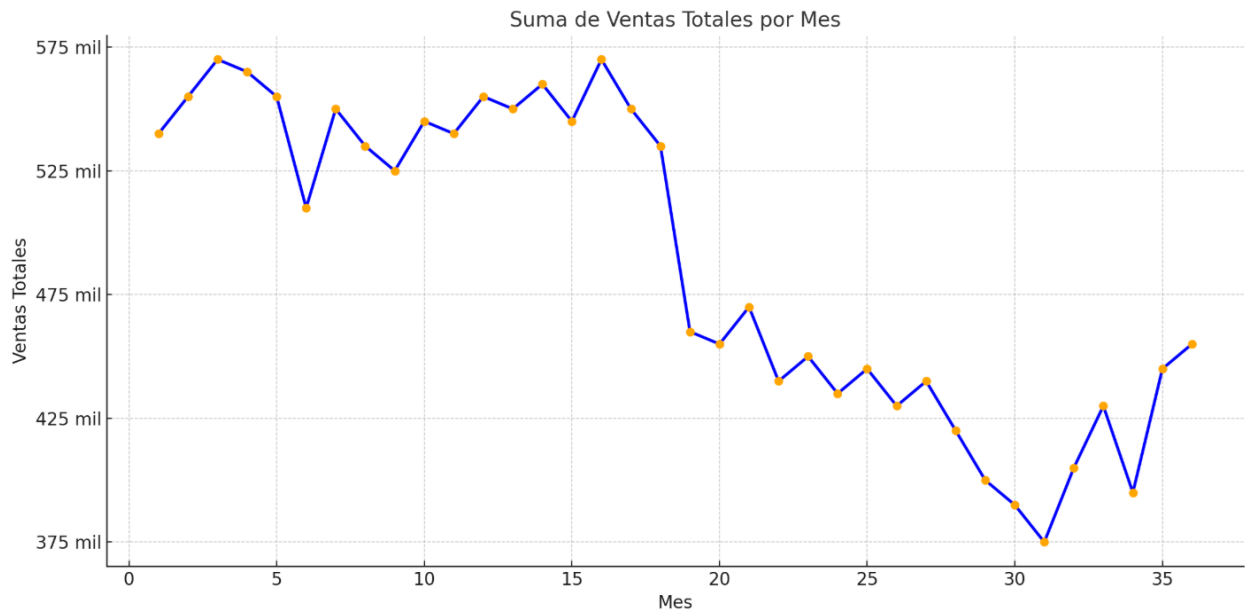
4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del desarrollo del modelo matemático de reaprovisionamiento estocástico, diseñado para optimizar la gestión de inventarios en la cadena de tiendas de conveniencia analizada. Los hallazgos se exponen de manera detallada y estructurada, con el propósito de fundamentar sólidamente las conclusiones y recomendaciones que se desarrollarán en el capítulo siguiente. Además de los resultados esperados, se incluyen aquellos que contradicen las hipótesis iniciales, lo que permite una interpretación más completa y equilibrada de los datos. Este enfoque garantiza transparencia y rigor en el análisis, facilitando una comprensión profunda de las implicaciones del modelo en el contexto de la gestión de inventarios.

4.1 Tendencias y factores determinantes en la evolución de las ventas mensuales

El análisis de la Figura 4.1 de ventas totales por mes revela una evolución caracterizada por fluctuaciones iniciales, seguidas de una tendencia descendente sostenida a partir del mes 17, con un punto mínimo registrado en torno al mes 31. Este comportamiento podría estar vinculado a variaciones en la demanda, factores externos, coyuntura económica o estrategias comerciales implementadas durante el período. En los meses más recientes, se aprecia una leve recuperación, aunque sin alcanzar los niveles iniciales, lo que resalta la importancia de un análisis más profundo para identificar las causas de la caída y desarrollar estrategias que fomenten la estabilidad y el crecimiento sostenido de las ventas.

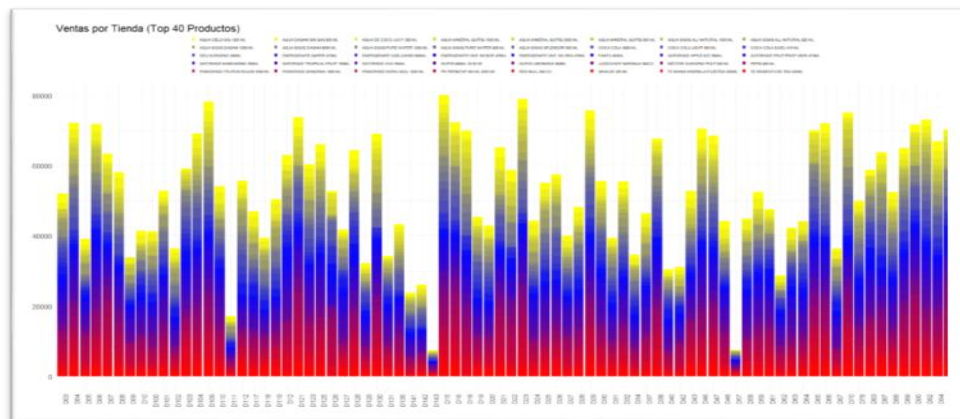
Figura 4. 1 Ventas Totales por Mes



Fuente: Elaboración propia, 2025

El gráfico refleja la variabilidad en el volumen de ventas entre tiendas, destacando establecimientos con un rendimiento significativamente superior. La segmentación por colores permite identificar la contribución de cada producto, mostrando patrones de preferencia diferenciados. Las tiendas con mayores ventas exhiben una distribución más equilibrada, mientras que, en aquellas con menor desempeño, ciertos productos predominan. Este análisis facilita la optimización del inventario y estrategias comerciales adaptadas a cada punto de venta.

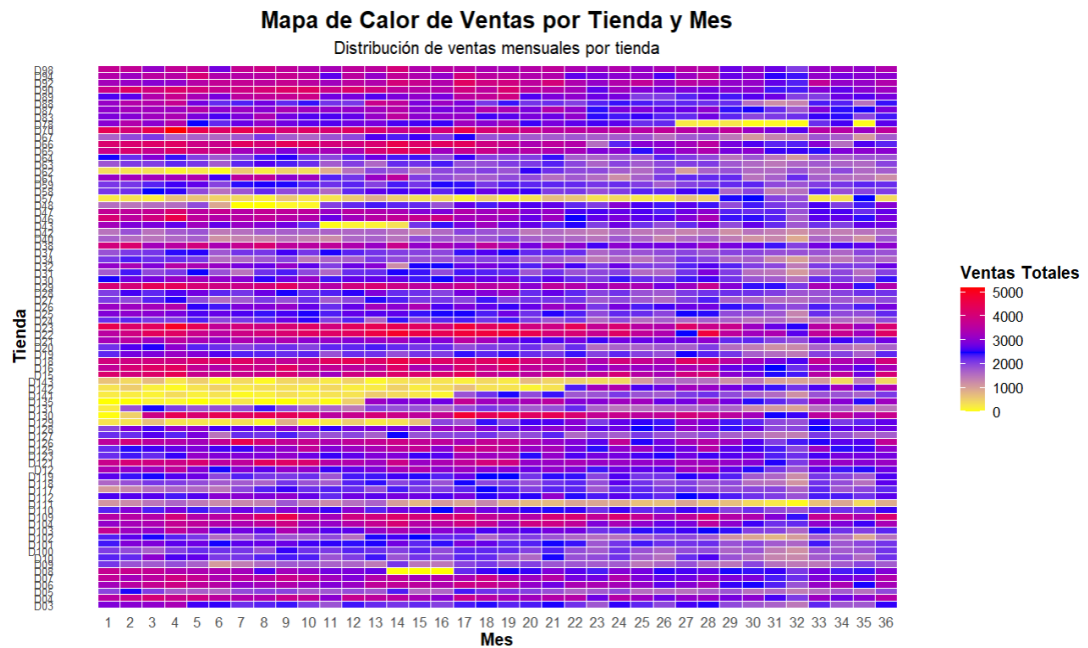
Figura 4. 2 Ventas de Productos por Tienda



Fuente: Elaboración propia, 2025

El mapa de calor de ventas por tienda y mes permite visualizar la distribución y variabilidad del desempeño comercial a lo largo del tiempo. Los colores más intensos, especialmente en tonos rojos y amarillos, indican períodos y tiendas con mayores volúmenes de ventas, mientras que los tonos más oscuros reflejan una menor actividad comercial. Se observa que algunas tiendas presentan picos de ventas en meses específicos, lo que sugiere patrones estacionales o efectos de promociones y estrategias comerciales. Esta representación facilita la identificación de tendencias y permite optimizar la gestión de inventario y estrategias de venta en función del comportamiento histórico de cada tienda.

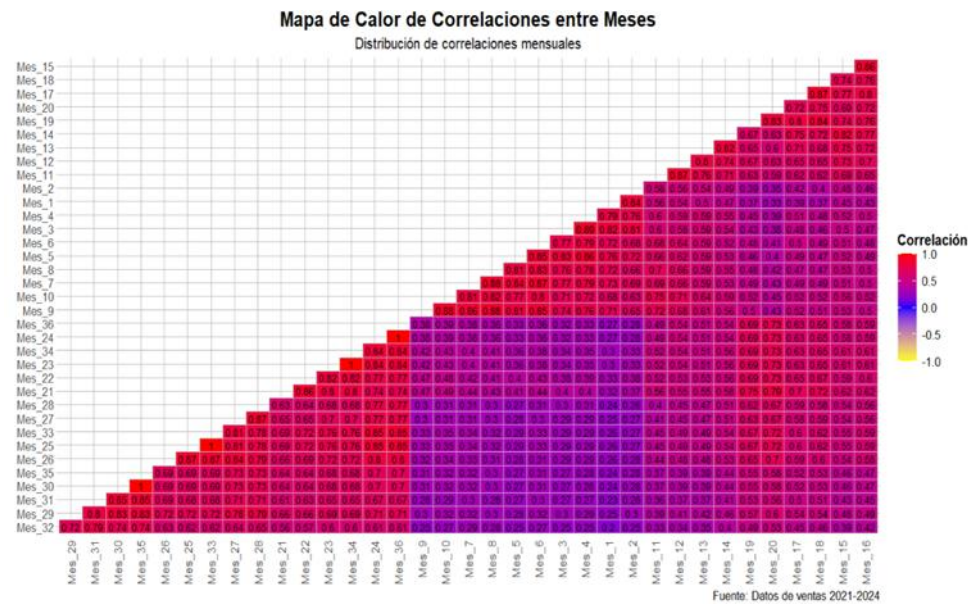
Figura 4. 3 Mapa de Calor de Ventas por Tiendas por Mes



Fuente: Elaboración propia, 2025

El mapa de calor de correlaciones entre meses muestra la relación entre los patrones de ventas mensuales a lo largo del período analizado. Los valores más cercanos a 1, representados en tonos rojos, indican una alta correlación positiva, lo que sugiere que las ventas en esos meses tienden a comportarse de manera similar. Por otro lado, los valores más bajos reflejan una menor dependencia entre los períodos comparados. Este análisis permite identificar estacionalidades y tendencias recurrentes en el comportamiento de las ventas.

Figura 4. 4 Mapa de Calor de Ventas por Tiendas por Mes



Fuente: Elaboración propia, 2025

4.2 Clasificación ABC

Los productos seleccionados para implementar el control y la aplicación del modelo matemático corresponden a aquellos identificados como los más estratégicos para la organización. Estos fueron clasificados como productos tipo "A" mediante un análisis de Pareto en función de las ventas, desarrollado en el capítulo previo y sintetizado en la Tabla 4.1. En total, se han considerado 20 productos y 20 tiendas para este proceso, lo que permite garantizar un enfoque representativo y alineado con los objetivos de la empresa.

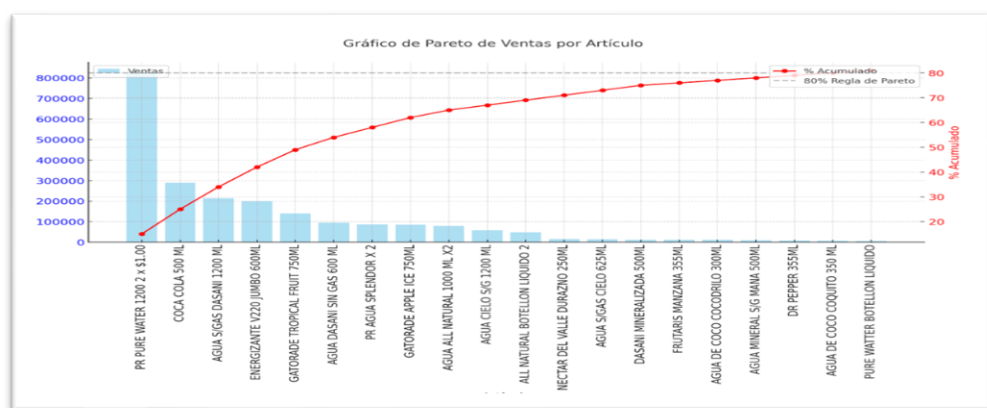
Tabla 4. 1 Productos categoría "A", análisis Pareto

ARTICULO	CODIGO	% ACUMULADO	CATEGORIA
PR PURE WATER 1200 2 x \$1.00	Producto1	15%	A
COCA COLA 500 ML	Producto2	25%	A
AGUA S/GAS DASANI 1200 ML	Producto5	34%	A
ENERGIZANTE V220 JUMBO 600ML	Producto4	42%	A
GATORADE TROPICAL FRUIT 750ML	Producto13	49%	A
AGUA DASANI SIN GAS 600 ML	Producto17	54%	A
PR AGUA SPLENDOR X 2	Producto16	58%	A
GATORADE APPLE ICE 750ML	Producto18	62%	A
AGUA ALL NATURAL 1000 ML X2	Producto19	65%	A
AGUA CIELO S/G 1200 ML	Producto20	67%	A
ALL NATURAL BOTELLON LIQUIDO 2	Producto10	69%	A
NECTAR DEL VALLE DURAZNO 250ML	Producto14	71%	A
AGUA S/GAS CIELO 625ML	Producto11	73%	A
DASANI MINERALIZADA 500ML	Producto7	75%	A
FRUTARIS MANZANA 355ML	Producto15	76%	A
AGUA DE COCO COCODRILO 300ML	Producto9	77%	A
AGUA MINERAL S/G MANA 500ML	Producto12	78%	A
DR PEPPER 355ML	Producto6	79%	A
AGUA DE COCO COQUITO 350 ML	Producto3	80%	A
PURE WATTER BOTELLON LIQUIDO	Producto8	81%	A

Fuente: Elaboración propia, 2025

En el presente estudio, nos enfocaremos en el análisis de los 20 productos que presentan el mayor volumen de ventas y margen de rentabilidad para la compañía. Estos artículos, seleccionados según su relevancia estratégica, representan aproximadamente el 81% del desempeño total de la categoría de bebidas no alcohólicas, de acuerdo con la metodología de clasificación ABC. Este enfoque permite priorizar aquellos productos que tienen un impacto significativo en los resultados comerciales y operativos de la empresa, destacando su importancia dentro del portafolio de bebidas.

Figura 4. 5 Gráfico de Pareto de Ventas por Producto



Fuente: Elaboración propia, 2025

Además, se identificaron las 20 tiendas más relevantes en términos de ventas y margen de rentabilidad. Estas ubicaciones no solo representan los puntos de mayor exposición para los productos seleccionados, sino que también destacan por su impacto estratégico en la participación de mercado y el volumen de ventas totales. Tal como se detalla en la Tabla 4.2, estas tiendas han sido clasificadas como categoría "A", reconociendo su papel preponderante en la consolidación de los resultados financieros y operativos de la empresa. Este enfoque permite priorizar recursos y estrategias hacia aquellos puntos de venta que maximizan tanto la visibilidad como la rentabilidad del portafolio de bebidas no alcohólicas.

Tabla 4. 2 Tiendas Categoría “A”

TIENDAS	CODIGO	CATEGORIA
EES LA PUNTILLA	Tienda1	A
EES CHAULLABAMBA	Tienda2	A
EES PLAZA DAÑIN	Tienda3	A
EES KENNEDY NORTE	Tienda4	A
EES PROGRESO	Tienda5	A
EES SANTA ROSA	Tienda6	A
EES NUEVA SAMBORONDON	Tienda7	A
EES AV. DEL BOMBERO	Tienda8	A
EES BANANO DE ORO	Tienda9	A
EES 25 DE JULIO I	Tienda10	A
LISTO SAN NICOLAS	Tienda11	A
EES NEXUS	Tienda12	A
EES CARLOS JULIO AROSEMENA	Tienda13	A
EES CUMBAYA	Tienda14	A
LISTO BA&Q	Tienda15	A
EES RUBEN	Tienda16	A
EES AMERICANA	Tienda17	A
EES LA INDEPENDENCIA	Tienda18	A
EES ROCAFUERTE	Tienda19	A
EES NOBOL	Tienda20	A

Fuente: Elaboración propia, 2025

4.3 Análisis de tendencia y estacionalidad

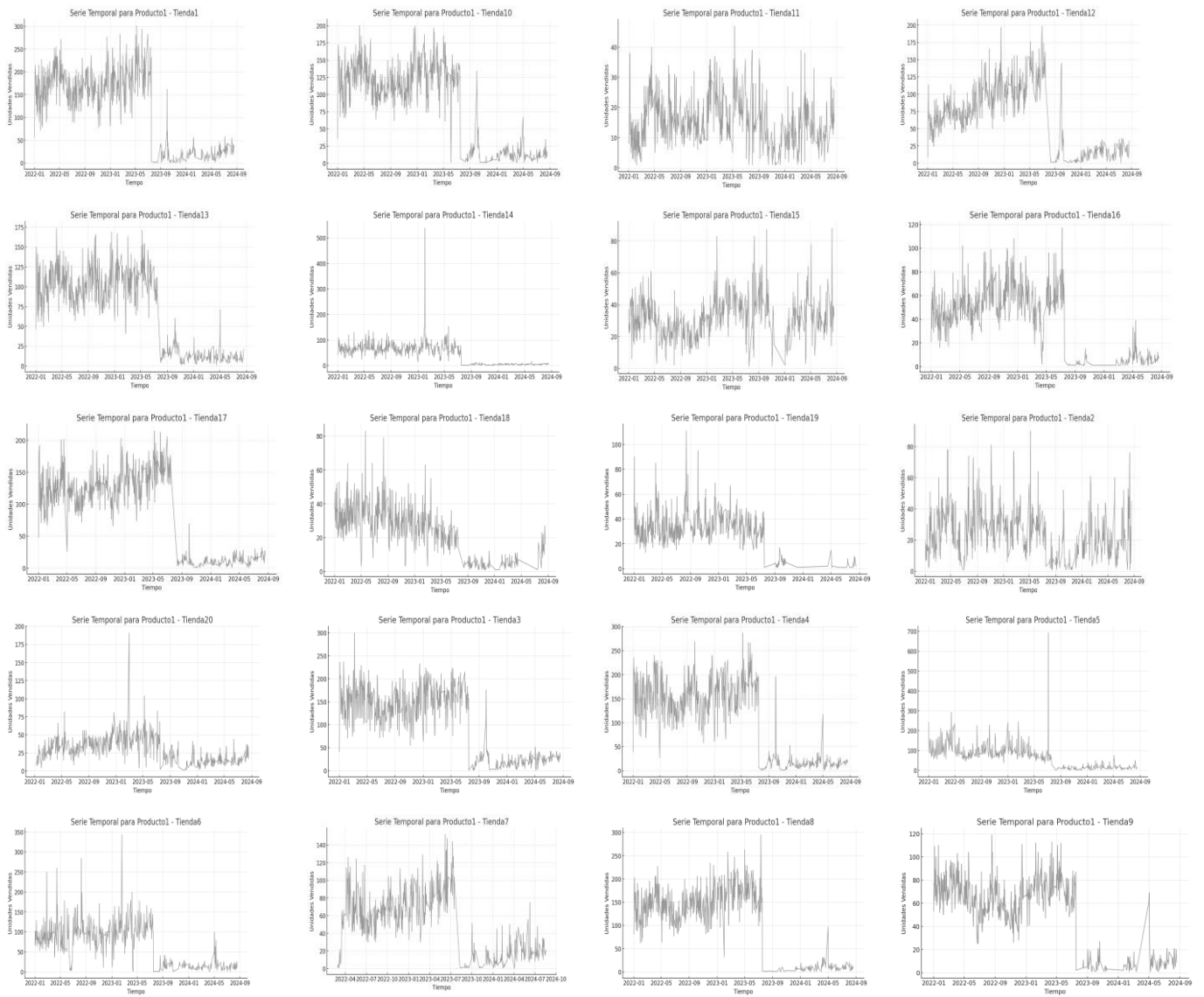
Mediante el empleo de la herramienta RStudio, se llevó a cabo un análisis de los principales productos y tiendas identificados como relevantes para este estudio, utilizando la información de ventas descargada de la empresa. En esta sección, se examinaron detalladamente los ítems con mayor desempeño en términos de ventas, considerando su clasificación por producto y tienda. Además, se evaluaron patrones de tendencia y estacionalidad, con el fin de determinar el enfoque más adecuado para revisar o ajustar el modelo propuesto.

- **Análisis de Ventas del producto 1 en las 20 tiendas**

El análisis de las ventas del producto 1 en las 20 tiendas revela una demanda variable con picos y caídas que sugieren la influencia de factores estacionales, promociones y estrategias comerciales. Mientras algunas tiendas mantienen una demanda estable o en crecimiento, otras muestran una tendencia decreciente, lo que podría indicar menor aceptación o la presencia de productos sustitutos. Se identifican diferencias significativas en el desempeño por tienda, evidenciando la necesidad de segmentar estrategias comerciales. En establecimientos con alta demanda, es clave garantizar abastecimiento constante, mientras que en los de menor rotación se recomienda optimizar la ubicación del producto y fortalecer campañas de promoción. La gestión de inventarios debe alinearse con la estacionalidad para evitar desabastecimientos o acumulación de stock. Asimismo, los picos abruptos en ciertas tiendas sugieren que descuentos y promociones generan impactos temporales que requieren estrategias de fidelización para mantener la demanda. En conclusión, se recomienda ajustar las estrategias comerciales según el comportamiento de cada tienda, maximizando la presencia del producto en los puntos con mayor demanda y explorando tácticas de posicionamiento y marketing en aquellos con menor desempeño.

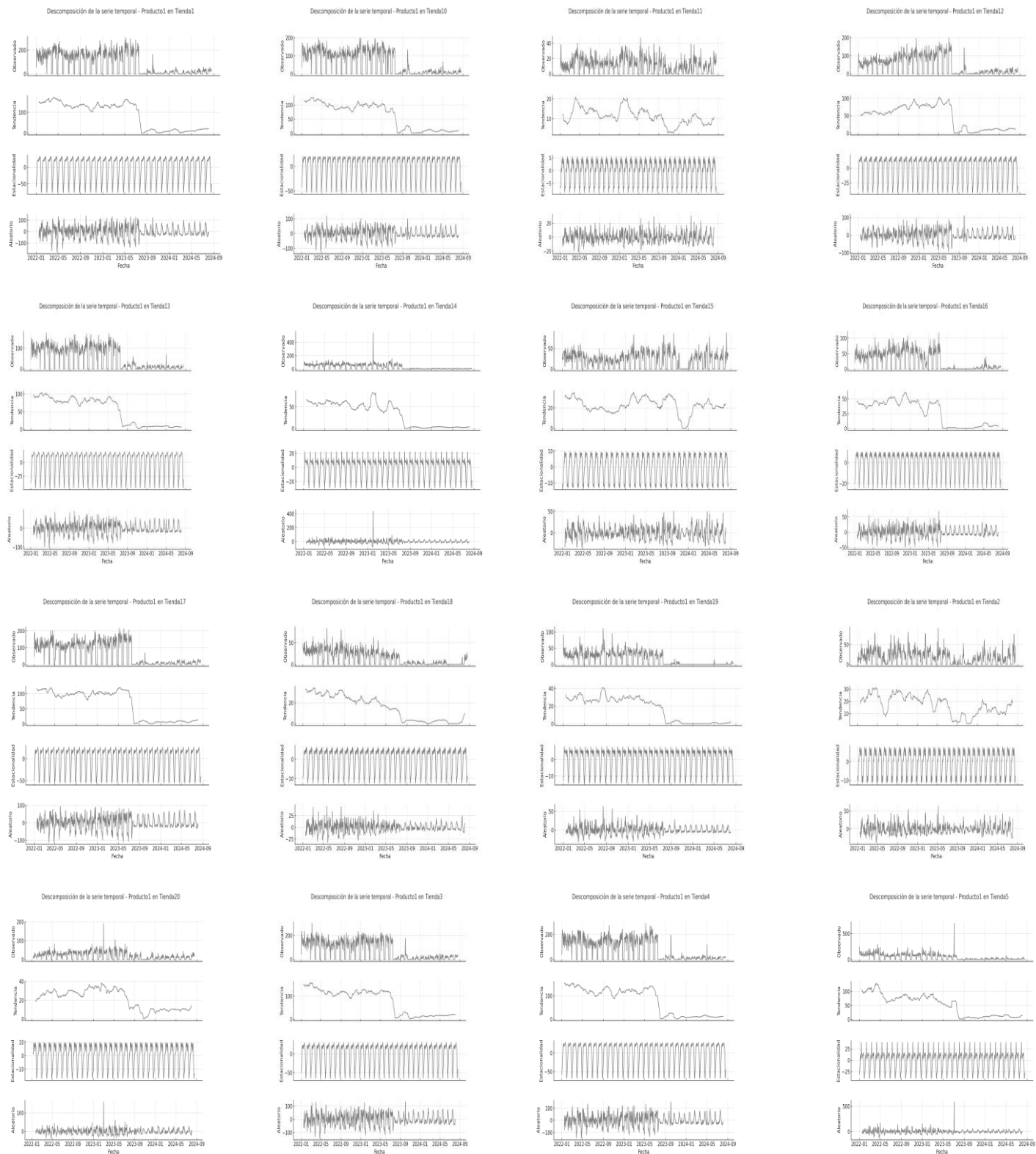
En el gráfico de la descomposición de la serie temporal se observa que, en la mayoría de los establecimientos, la tendencia general tiende a disminuir, lo que sugiere posibles cambios en la preferencia del consumidor, factores operativos o estrategias comerciales que han impactado negativamente en las ventas. Asimismo, la presencia de una fuerte estacionalidad indica que las compras siguen un ciclo recurrente, probablemente influenciado por hábitos de consumo semanales. Adicionalmente, se identifican fluctuaciones abruptas y eventos atípicos en algunas tiendas, lo que podría estar asociado a promociones, cambios en la disponibilidad del producto o alteraciones en el mercado. Estos hallazgos resaltan la importancia de una gestión estratégica del inventario, la optimización de campañas promocionales y la necesidad de un análisis detallado para mitigar la volatilidad en las ventas y fortalecer la sostenibilidad del negocio.

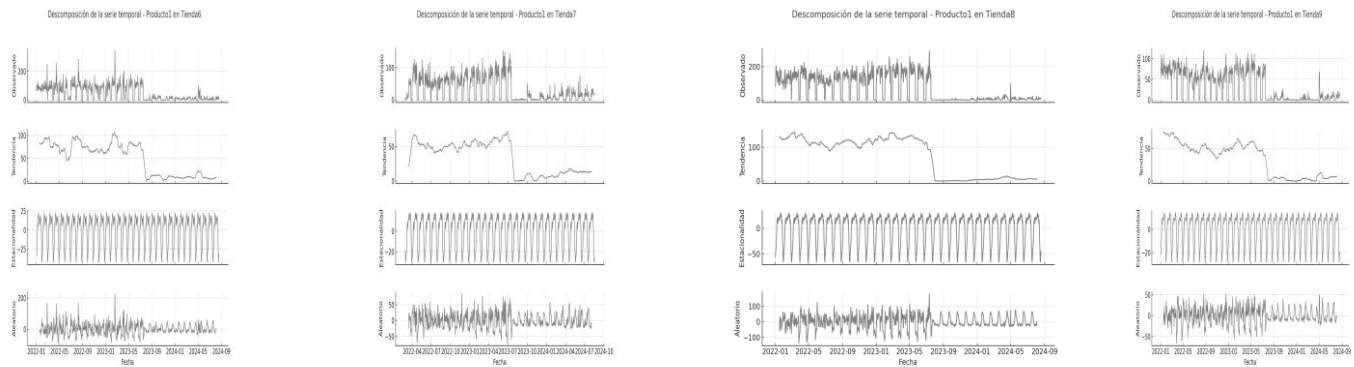
Figura 4. 6 Ventas del Producto 1 en las 20 Tiendas



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4. 7 Descomposición Serie Temporal - Producto 1 en las 20 Tiendas



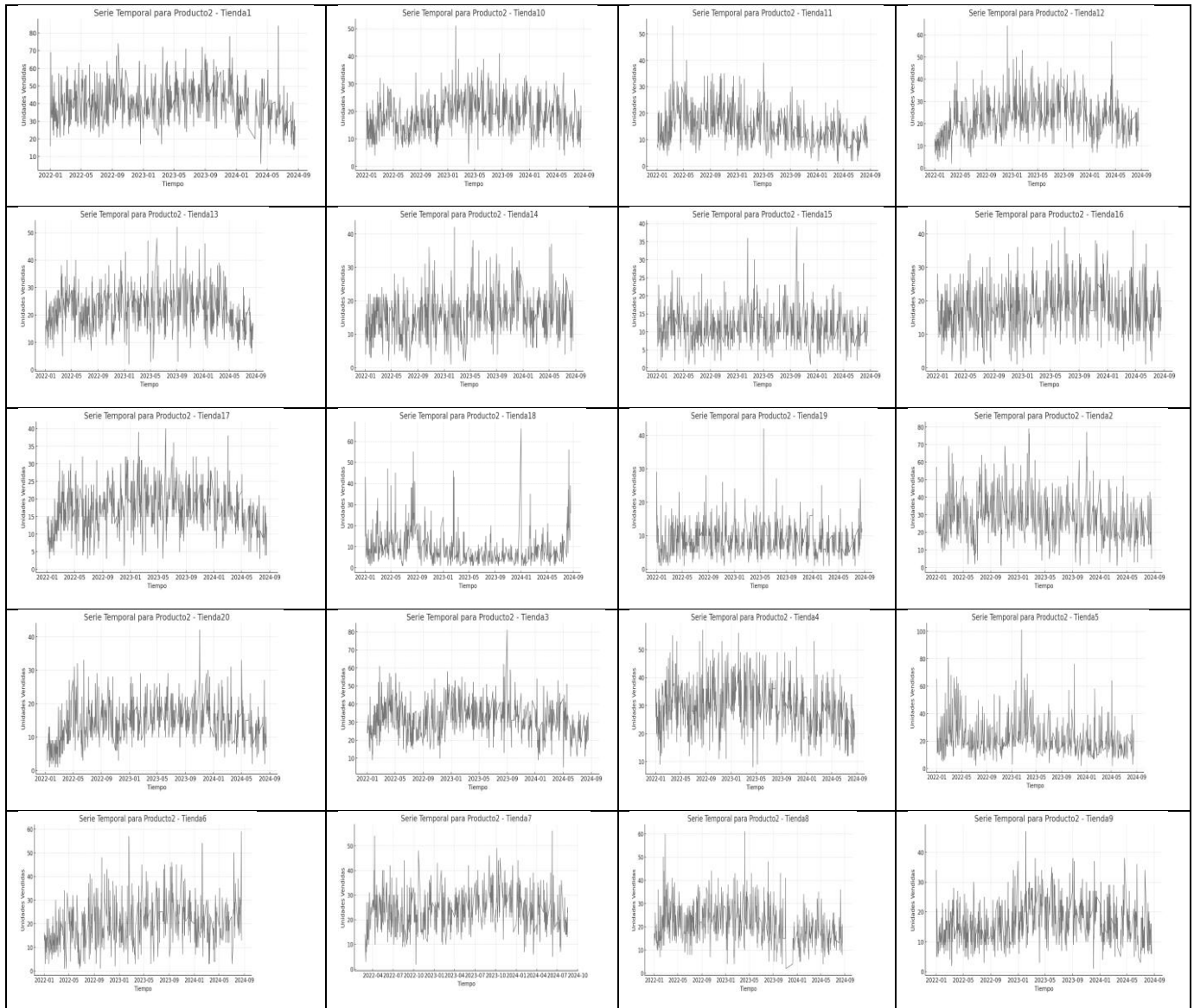


Fuente: Elaboración propia, 2025

• Análisis de Ventas del producto 2 en las 20 tiendas

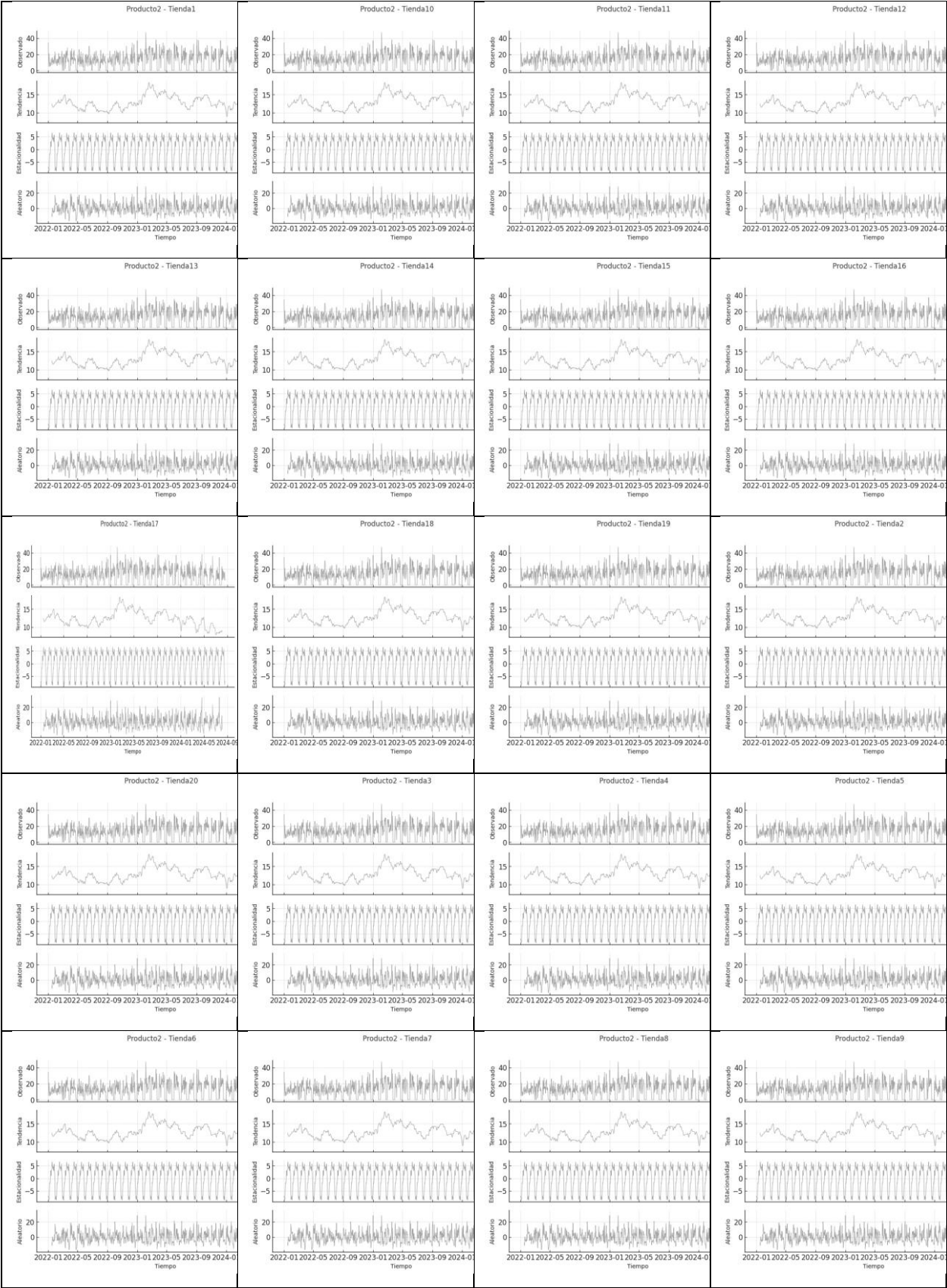
El análisis del producto 2 en las 20 tiendas revela una demanda variable, con diferencias notables entre los puntos de venta. Algunas tiendas mantienen ventas estables, mientras que otras experimentan fluctuaciones marcadas, influenciadas por promociones, estacionalidad o cambios en la preferencia del consumidor. Se identifican patrones cíclicos que sugieren una demanda sujeta a factores temporales y estrategias comerciales específicas. Además, los picos de ventas seguidos de caídas abruptas evidencian el impacto de descuentos o eventos promocionales sin estrategias de fidelización sostenibles. La descomposición de las series temporales muestra una tendencia mayormente creciente, aunque algunas tiendas presentan estabilidad o declive, lo que puede responder a variaciones en el mercado. La estacionalidad es un factor clave, con picos recurrentes en ciertas épocas del año, y la variabilidad aleatoria refleja fluctuaciones impredecibles, posiblemente ligadas a competencia o ajustes en inventarios. Estas diferencias evidencian la necesidad de estrategias personalizadas, priorizando la optimización del abastecimiento en tiendas con alta demanda, el fortalecimiento de la presencia del producto en aquellas con menor crecimiento y la implementación de campañas de fidelización para reducir la volatilidad en las ventas. En conclusión, ajustar las estrategias según el comportamiento de cada tienda permitirá capitalizar los periodos de alta demanda y garantizar un crecimiento sostenido.

Figura 4. 8 Ventas del Producto 2 en las 20 Tiendas



Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4. 9 Descomposición Serie Temporal - Producto 2 en las 20 Tiendas

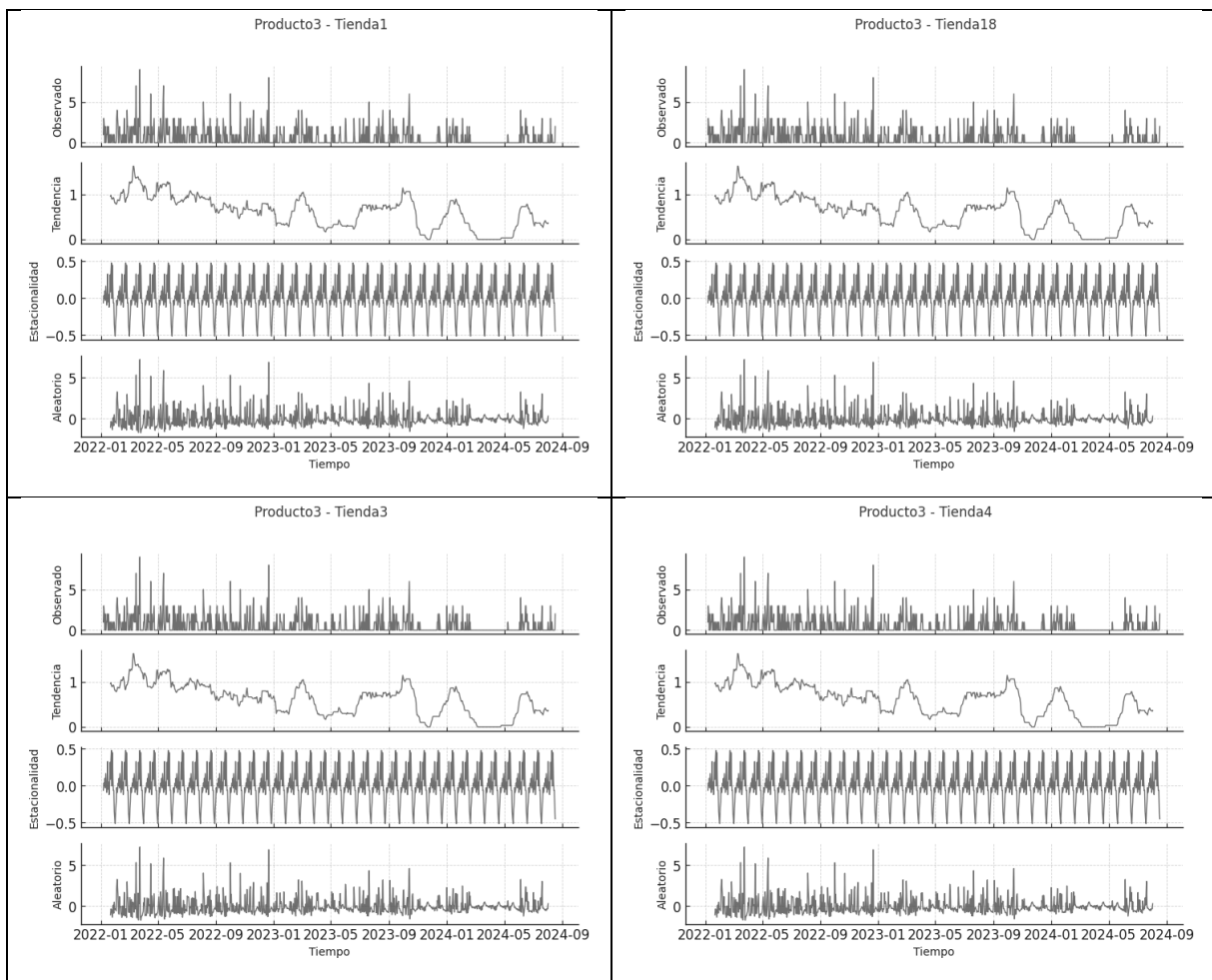


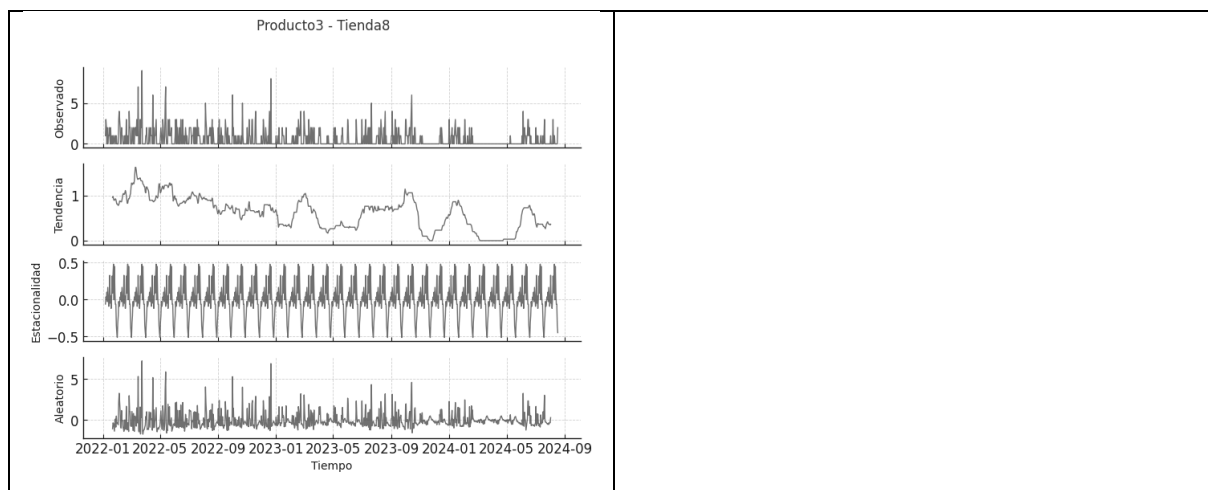
Fuente: Elaboración propia, 2025

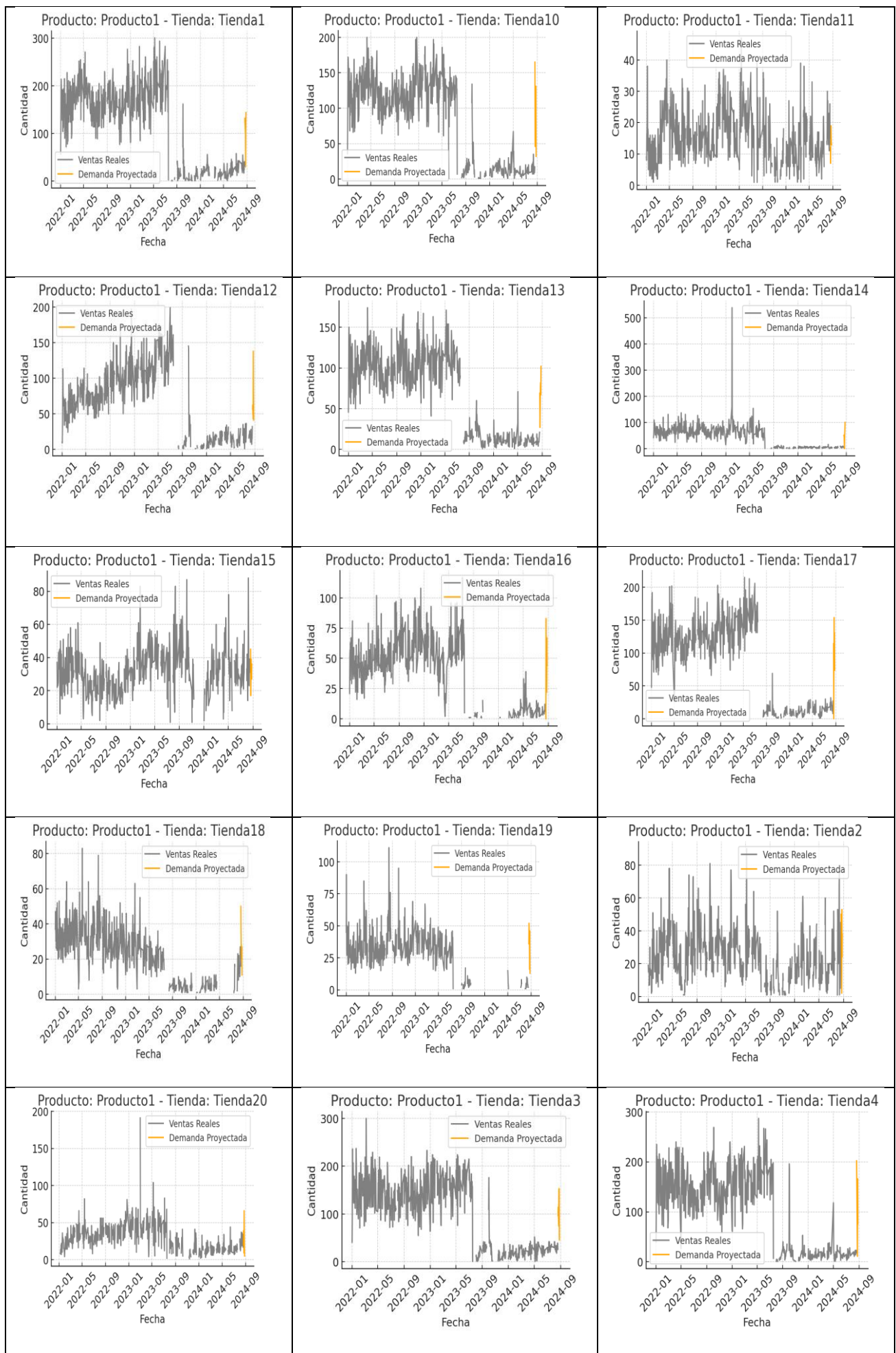
- **Análisis de Ventas del producto 3 en las tiendas**

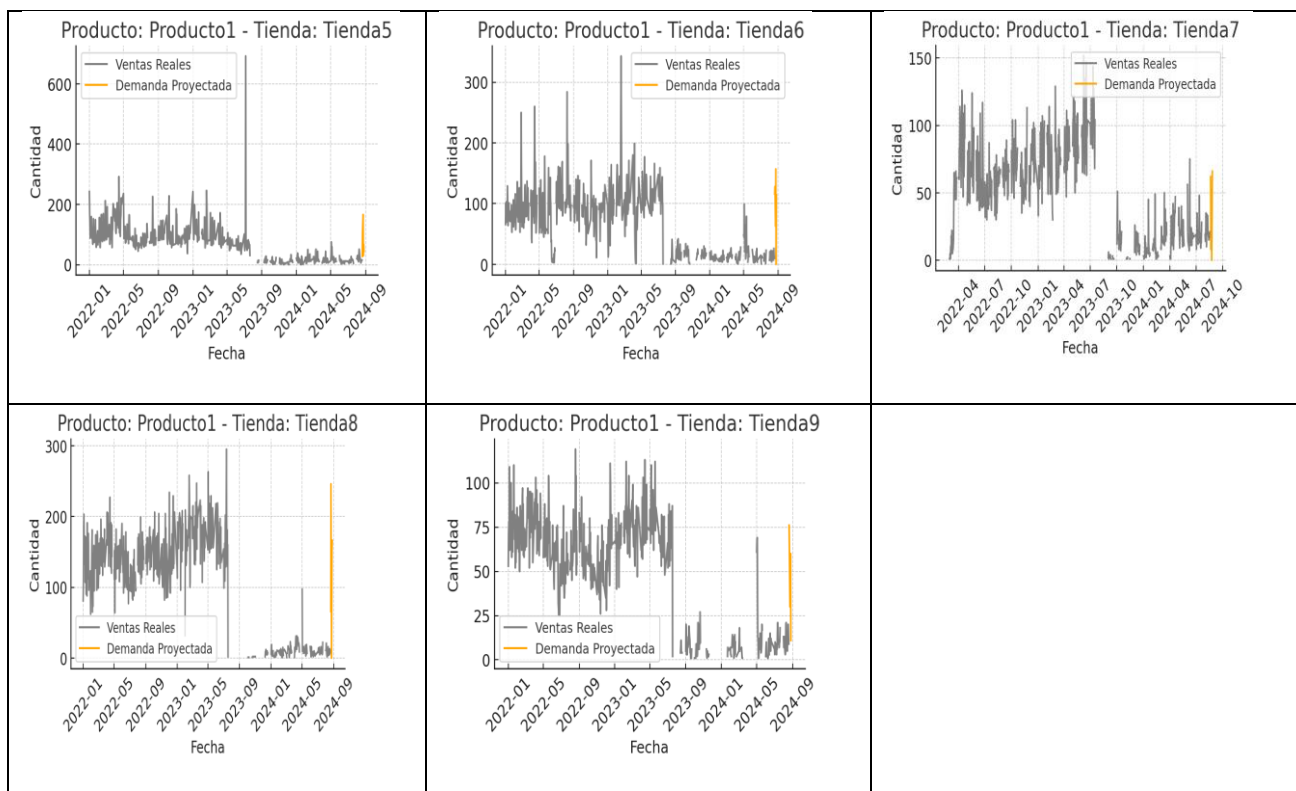
El análisis de las series temporales por producto y tienda revela diferencias en la tendencia, estacionalidad y variabilidad de la demanda. Mientras algunas tiendas muestran un crecimiento sostenido, otras presentan estabilidad o descensos, lo que sugiere la influencia de factores como la competencia y estrategias comerciales. La estacionalidad es clara en ciertos productos, con picos de demanda en períodos específicos, lo que permite optimizar la planificación de inventario y promociones. Sin embargo, la volatilidad en algunas tiendas indica la necesidad de estrategias que estabilicen la demanda y mejoren la gestión de stock. Las diferencias entre tiendas evidencian la importancia de enfoques personalizados, ajustando las tácticas comerciales según el comportamiento de cada establecimiento.

Figura 4. 10 Descomposición Serie Temporal - Producto 3 en las 20 Tiendas









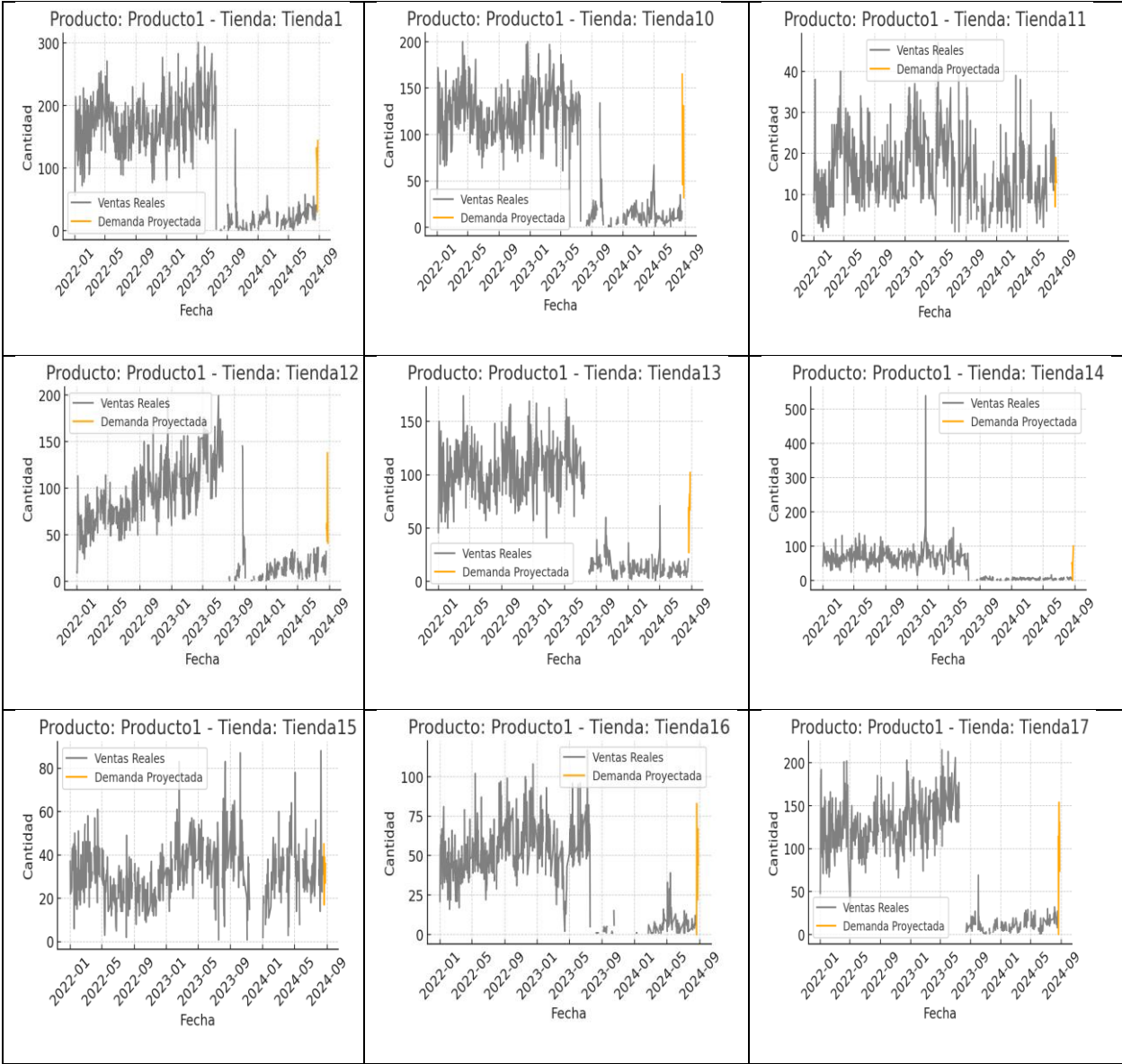
Fuente: Elaboración propia, 2025

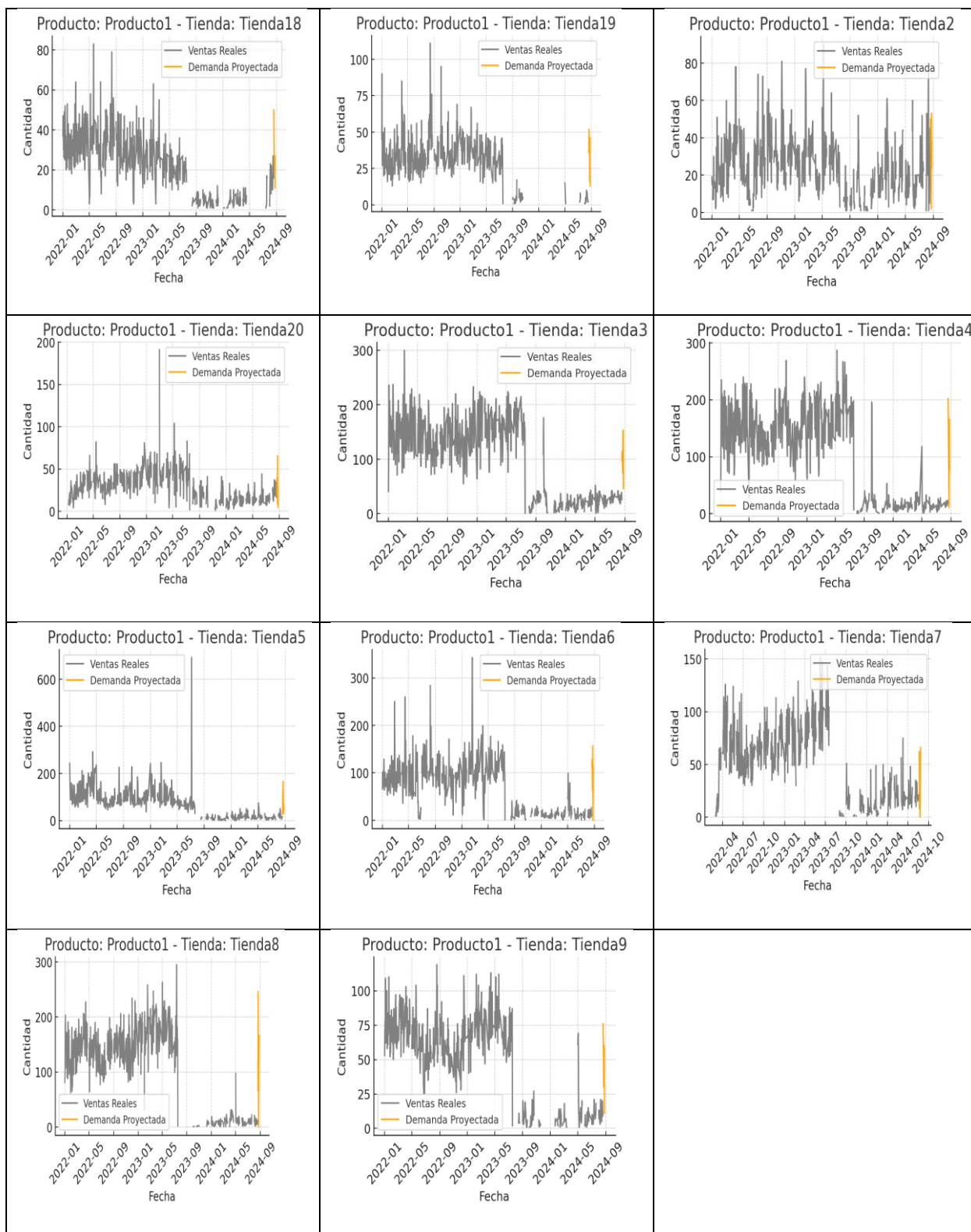
4.4 Simulaciones de demanda futura

El modelo de predicción de demanda implementado emplea un enfoque basado en series de tiempo y simulaciones de Monte Carlo para estimar escenarios futuros de ventas en diferentes tiendas y productos, utilizando datos históricos almacenados en un archivo Excel. A través del preprocesamiento y la conversión de los datos a una estructura de serie temporal, se ajusta un modelo ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) mediante la función `auto.arima()`, optimizando la selección de parámetros para capturar patrones estacionales y tendencias. Posteriormente, se generan múltiples escenarios de predicción mediante simulaciones estocásticas, garantizando la representación de la incertidumbre inherente a la demanda futura. Cada escenario simulado es transformado en valores enteros y no negativos, asegurando coherencia en las estimaciones. Finalmente, los resultados de todas las combinaciones de tienda y producto se consolidan en un archivo Excel, proporcionando un marco de referencia cuantitativo para la planificación y gestión eficiente de inventarios.

Este modelo constituye una herramienta analítica robusta que facilita la toma de decisiones basada en pronósticos probabilísticos, optimizando la disponibilidad de productos y reduciendo el riesgo de desabastecimiento o sobreinventario.

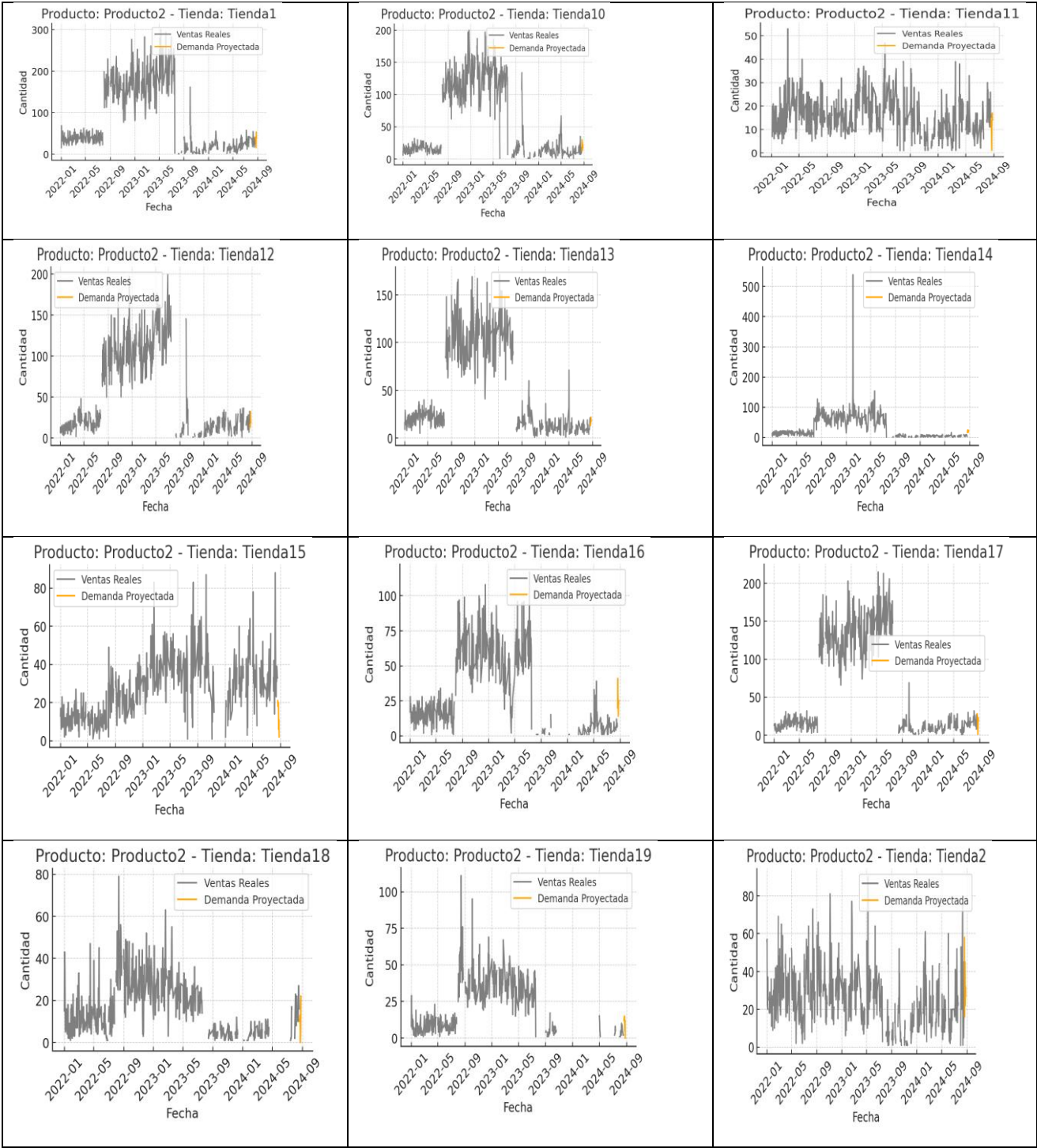
Figura 4. 11 Pronóstico de la Demanda del Producto 1 en las 20 Tiendas

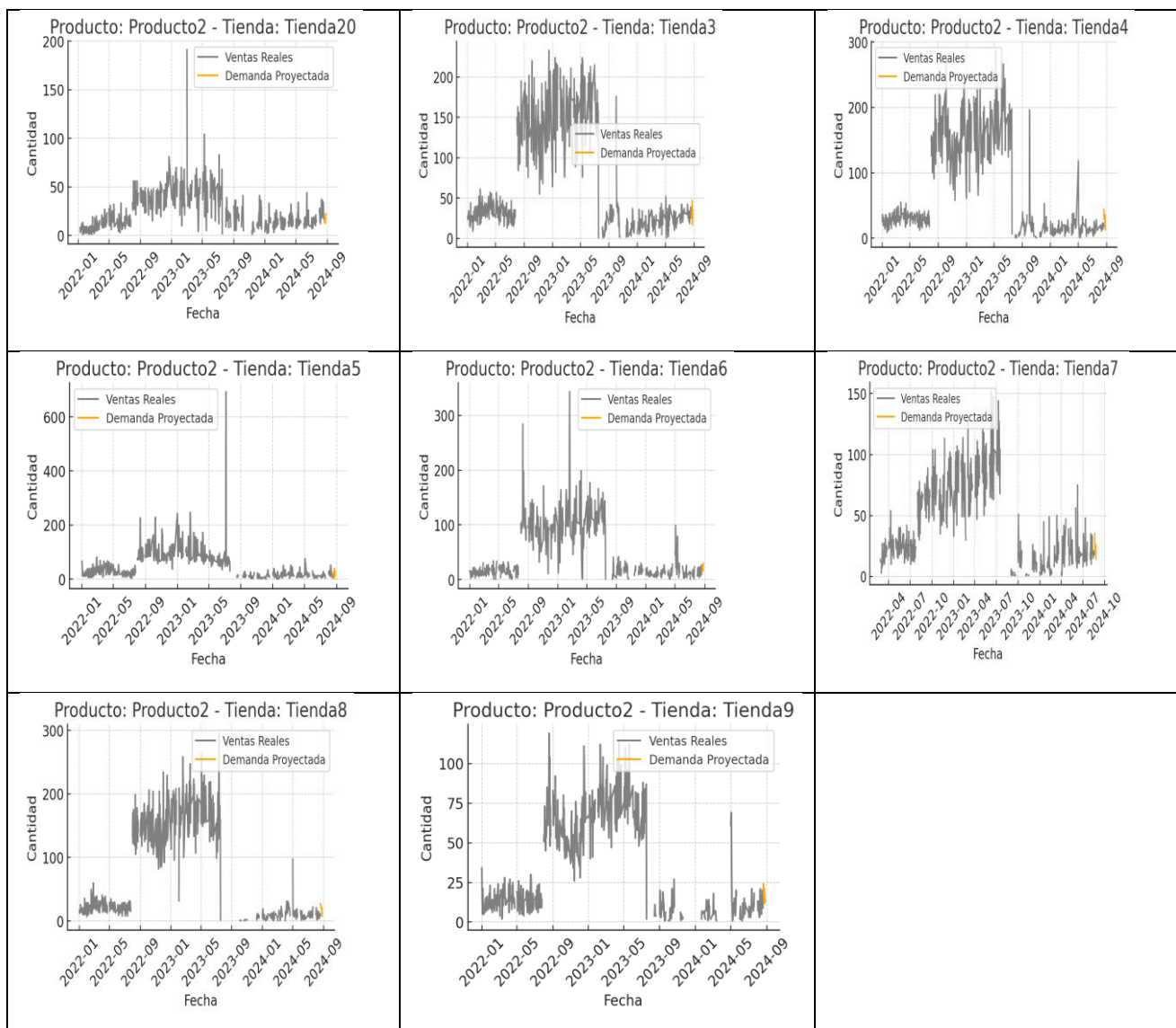




Fuente: Elaboración propia, 2025

Figura 4. 12 Pronóstico de la Demanda del Producto 2 en las 20 Tiendas





Fuente: Elaboración propia, 2025

4.5 Política de reaprovisionamiento

El modelo de reaprovisionamiento se basa en un sistema de punto de reorden, donde los pedidos se activan en función de la predicción de demanda y un stock de seguridad previamente definido.

La regla para la activación de un pedido de orden de reabastecimiento se da cuando el inventario disponible es igual o menor que el valor del punto de reorden del punto de reorden determinado por:

$$R = D \cdot LT + SS$$

Donde:

- R: Punto de reorden
- D: Demanda Promedio (considera el promedio de los 100 escenarios)
- LT: Tiempo de entrega del proveedor (en nuestro caso es 1)
- SS: Stock de seguridad definido como el 10% de la capacidad máxima

Se ha definido un pedido mínimo que de acuerdo con cada proveedor y en base a históricos de pedidos se calcula como el 30% de la capacidad máxima para cada producto en cada tienda.

Para garantizar que el modelo de reaprovisionamiento se adapte a fluctuaciones en la demanda y cambios en las condiciones del mercado, se implementa un mecanismo de monitoreo continuo que permite ajustar dinámicamente los valores del punto de reorden, stock de seguridad y cantidad de pedido mínimo. Este monitoreo se basa en los siguientes elementos clave:

- *Análisis periódico de la demanda*: Se revisan semanalmente los datos históricos de la demanda y se actualizan los modelos con estos resultados, se detectan patrones de consumos atípicos y se ajustan los valores de demanda promedio.
- *Puntos de control semanal*: Se calcula el stock de seguridad mensualmente, considerando factores como la variabilidad de la demanda y cumplimiento de los proveedores para evaluar si se cambia el lead time en el modelo.
- *Enfoque dinámico*: donde el stock de seguridad puede aumentar o reducirse en función de la estabilidad y continuidad del suministro.
- *Optimización del tamaño de los pedidos*: Se utilizan modelos de optimización para determinar la cantidad ideal de cada pedido, considerando los costos de adquisición, y almacenamiento.

4.6 Análisis de los Resultados del Modelo Matemático

El modelo matemático implementado en GAMS se basó en programación lineal entera mixta, con el objetivo de minimizar los costos totales asociados al pedido, almacenamiento y desabastecimiento, bajo restricciones operativas como la capacidad de almacenamiento.

Definición del conjunto de elementos del modelo

El modelo se basa en la siguiente estructura:

- i : Productos en la red.
- j : Tiendas en la red.
- t : Periodos de planificación en este caso diario
- s : Escenarios de demanda simulados

Parámetros del modelo

- $c(i, j)$: Costo unitario de pedido (se incluye costo administrativo y transporte) del producto i para la tienda j
- $h(i, j)$: Costo de mantenimiento de inventario del producto i en la tienda j .
- $b(i, j)$: Costo de desabastecimiento del producto i en la tienda j .
- $d(i, j, t, s)$: Demanda proyectada del producto i en la tienda j , en el periodo t bajo el escenario s
- $p(s)$: Probabilidad asociada a cada escenario.
- $Ss(i, j)$: Stock de seguridad, definido como el 10% de la capacidad máxima

Variables de decisión

El modelo optimiza las siguientes variables

- $x(i, j, t)$: Cantidad para ordenar del producto i , a la tienda j en el periodo t .
- $n(i, j, t)$: Inventario final de cada periodo.
- z : Costo total esperado el sistema.
- $Shortage(i, j, t, s)$: Cantidad de desabastecimiento.
- $y(i, j, t)$: Variable binaria que indica si se realiza un pedido i en el período t para la tienda j .

Función Objetivo

El modelo minimiza los costos totales que se define como:

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i,j,t} (c(i,j) \cdot x(i,j,t) + h(i,j) \cdot n(i,j,t) + b(i,j) \cdot \text{Shortage}(i,j,t))$$

Esta ecuación equilibra los costos de pedido, almacenamiento y desabastecimiento, promoviendo un modelo de reaprovisionamiento eficiente y sostenible.

Restricciones del modelo

Balance de inventario

Las decisiones de inventario están sujetas a las siguientes restricciones

$$n(i,j,t) = n(i,j,t-1) + x(i,j,t) - d(i,j,t,s)$$

Esta ecuación asegura que el inventario final de un periodo sea resultado del inventario previo más los pedidos realizados menos la demanda.

Restricción de stock de seguridad

$$n(i,j,t,s) \geq ss(i,j)$$

Garantiza que el inventario disponible nunca sea inferior al nivel de stock de seguridad

Restricción de capacidad de almacenamiento.

$$n(i,j,t,s) \leq K(i,j)$$

Restricción de pedido mínimo

$$x(i,j,t) \geq \text{pedido_minimo}(i,j) * y(i,j,t)$$

Garantiza que las órdenes de compra sean superiores a un umbral mínimo que pueden despachar los proveedores y evitar costos excesivos por pedidos de baja cantidad.

Restricción binaria para decisión de pedido.

Se define un valor grande BIG para modelar la activación de pedidos con la ecuación.

$$x(i,j,t) \leq \text{BIG} * y(i,j,t)$$

Donde BIG es un valor suficientemente grande para permitir flexibilidad en la toma de decisión

Simulaciones Monte Carlo y evaluación del modelo.

El modelo se resuelve mediante un enfoque de simulación Monte Carlo en el que:

- Se asignan valores de demanda de los diferentes escenarios simulados
- Se optimiza el problema de reabastecimiento usando programación entera mixta (MIP)
- Se almacenan los costos totales obtenidos en cada iteración
- Se calculan estadísticas claves como la media del costo total y desviación estándar

Finalmente, los resultados se exportan a un archivo de Excel para el análisis y toma de decisiones:

Para el Producto 1 en la Tienda 1, los datos obtenidos se presentan en la Tabla 4.3, donde se detallan los valores resultantes del proceso de optimización. En esta tabla se pueden observar los pedidos realizados a lo largo del período de análisis, así como los costos asociados a la gestión del inventario.

A partir de estos datos, se calcularon diversas métricas operativas que brindan un panorama más completo del comportamiento del inventario y su eficiencia. El stock promedio registrado fue de 346 unidades, lo que refleja la cantidad promedio de productos disponibles en el almacén durante el período analizado. La rotación de inventario, que indica la frecuencia con la que el stock se renueva en función de la demanda, alcanzó un valor de 2.00, lo que sugiere que el inventario se renueva aproximadamente dos veces en el horizonte de planificación, lo que mejora significativamente la obsolescencia.

Asimismo, la cobertura de inventario, definida como la cantidad de períodos que el stock promedio puede abastecer en función de la demanda, se estimó en 3.49 períodos, lo que garantiza cierta estabilidad en el abastecimiento del producto. En términos de costos, el costo promedio por período fue de \$ 85.51, reflejando la inversión requerida para gestionar el inventario de manera eficiente.

Finalmente, el nivel de servicio alcanzó un valor de 100, lo que indica que la disponibilidad del producto fue suficiente para cubrir la demanda en todos los períodos analizados, evitando así el desabastecimiento y garantizando la satisfacción del cliente.

Tabla 4. 3 Resultado de Optimización del Producto 1 en Tienda 1

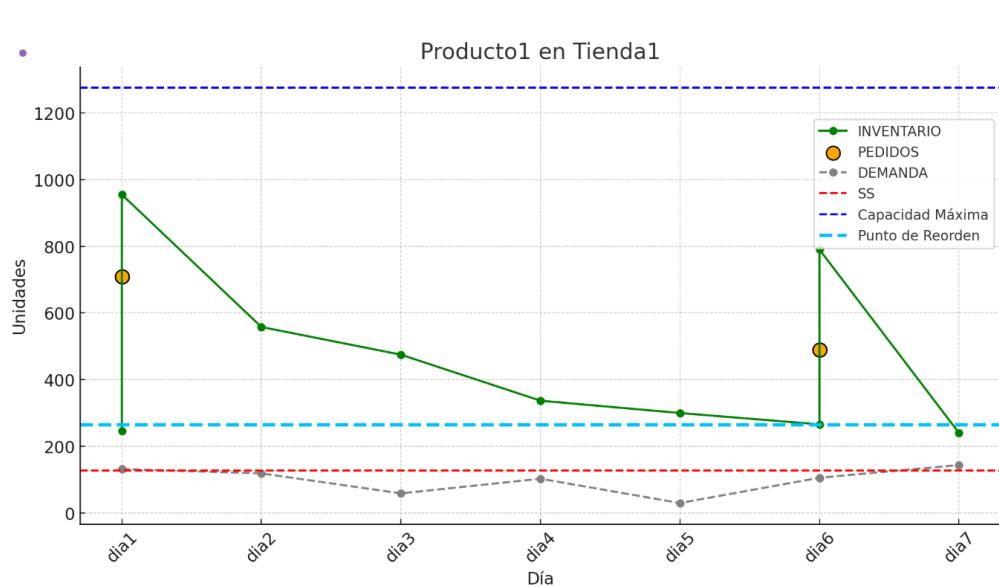
			PRODUCTO 1 EN LA TIENDA 1							
Atributo	Producto	Tienda	Periodo1	Periodo2	Periodo3	Periodo4	Periodo5	Periodo6	Periodo7	Total
C de Pedido	Producto1	Tienda1	172.8					119.4		292.3
C Mantenimiento	Producto1	Tienda1	31.1	70.6	60.1	33.6	42.6	37.9	30.4	306.4
Costo Total	Producto1	Tienda1	203.9	70.6	60.1	33.6	42.6	157.4	30.4	\$ 598.6
d.Demanda	Producto1	Tienda1	132.0	119.0	59.0	103.0	30.0	106.0	144.0	
Inventario ini	Producto1	Tienda1	246.0	558.0	475.0	337.0	300.0	266.0	240.0	
K.Capacidad	Producto1	Tienda1	1276.0	1276.0	1276.0	1276.0	1276.0	1276.0	1276.0	
reorder_point.ReorderPoint	Producto1	Tienda1	266	266	266	266	266	266	266	
ss.SS	Producto1	Tienda1	128	128	128	128	128	128	128	Total
x_values.Pedido	Producto1	Tienda1	709.0					490.0		

Fuente: Elaboración propia, 2025

También se ilustra en la Figura 4.14 la evolución del inventario del Producto 1 en Tienda 1 a lo largo de siete períodos, considerando la demanda, los pedidos realizados, el stock de seguridad (SS) y la capacidad máxima de almacenamiento. La gráfica muestra la dinámica del inventario en función del consumo y las reposiciones efectuadas, permitiendo visualizar el impacto de la demanda sobre los niveles de stock y la respuesta del sistema ante el punto de reorden.

A partir de la figura, se observa que el inventario sigue una tendencia decreciente a medida que avanza el período, alcanzando niveles cercanos al punto de reorden en múltiples ocasiones. No obstante, el sistema de reaprovisionamiento actúa de manera efectiva, asegurando que el stock no caiga por debajo del stock de seguridad (SS), lo que garantiza un nivel de servicio del 100%, evitando quiebres de inventario y asegurando la disponibilidad del producto.

Figura 4. 13 Evolución del Inventario del Producto 1 en la Tienda 1



Fuente: Elaboración propia, 2025

Para el Producto 1 en la Tienda 2, la Tabla 4.4 presenta los valores optimizados de inventario, pedidos y costos. A diferencia de la Tienda 1, esta sucursal opera con un stock promedio menor (52.86 unidades), lo que indica una gestión más ajustada. La rotación de inventario es más alta (4.69), reflejando una rápida renovación del stock y una menor acumulación de inventario.

En términos de cobertura, el stock disponible garantiza el abastecimiento por 1.49 períodos, lo que requiere un monitoreo más frecuente para evitar quiebres. El costo promedio por período \$17.71 es significativamente menor, optimizando los recursos sin incurrir en sobrealmacenamiento. Sin embargo, el nivel de servicio 88%, aunque elevado, es inferior al de la Tienda 1 (100%), lo que sugiere la necesidad de ajustes en el punto de reorden o el stock de seguridad.

En general, la Tienda 2 mantiene un balance entre eficiencia operativa y costos, aunque con un ligero riesgo de desabastecimiento en períodos de alta demanda. Un ajuste en las políticas de reabastecimiento permitiría mejorar la disponibilidad sin afectar la eficiencia del sistema.

Tabla 4. 4 Resultado de Optimización del Producto 1 en Tienda 2

			PRODUCTO 1 EN LA TIENDA 2								
Atributo	Producto	Tienda	Periodo1	Periodo2	Periodo3	Periodo4	Periodo5	Periodo6	Periodo7	Total	
C de Pedido	Producto1	Tienda2	24.4	14.4			15.1	12.2	12.2	78.2	
C Mantenimiento	Producto1	Tienda2	3.8	7.1	9.1	8.6	5.6	6.3	5.2	45.7	
Costo Total	Producto1	Tienda2	28.2	21.5	9.1	8.6	20.7	18.5	17.4	\$ 123.9	
d.Demanda	Producto1	Tienda2	50.0	42.0	21.0	2.0	53.0	24.0	38.0		
Inventario ini	Producto1	Tienda2	30.0	56.0	72.0	68.0	44.0	50.0	41.0		
K.Capacidad	Producto1	Tienda2	168.0	168.0	168.0	168.0	168.0	168.0	168.0		
reorder_point.Re	Producto1	Tienda2	44	44	44	44	44	44	44	44	
ss.SS	Producto1	Tienda2	17	17	17	17	17	17	17	17	Total
x_values.Pedido	Producto1	Tienda2	100.0	59.0			62.0	50.0	50.0		

Fuente: Elaboración propia, 2025

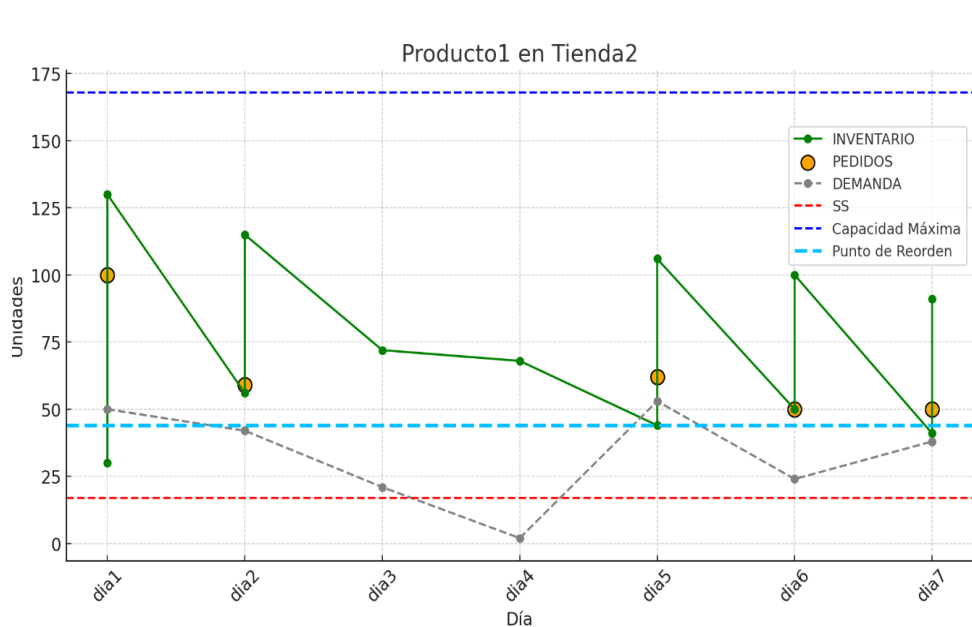
La Figura 4.15 ilustra la evolución del inventario del Producto 1 en la Tienda 2, reflejando la dinámica entre demanda, pedidos y niveles de stock. A diferencia de la Tienda 1, donde el inventario es más holgado, aquí se observa una mayor fluctuación y una gestión más ajustada a la demanda.

Se identifican varios momentos en los que el inventario cae por debajo del punto de reorden (44 unidades, línea azul discontinua), lo que activa automáticamente nuevos pedidos (marcados en amarillo). Sin embargo, en algunos períodos, el stock se acerca peligrosamente al stock de seguridad (17 unidades, línea roja discontinua), evidenciando un riesgo de desabastecimiento, especialmente en períodos de alta demanda.

A nivel operativo, esta tienda mantiene una estrategia eficiente en términos de rotación de inventario (4.69) y costo promedio por período (\$ 17.71), reduciendo costos de almacenamiento. No obstante, el nivel de servicio (88%) sugiere que, en ciertas ocasiones, la demanda no es cubierta completamente por el stock disponible, lo que podría impactar la disponibilidad del producto.

En conclusión, la Tienda 2 opera con una estrategia optimizada en costos y rotación, pero con un margen de seguridad más reducido. Ajustes en el punto de reorden o en la frecuencia de pedidos podrían mejorar la disponibilidad sin comprometer la eficiencia operativa.

Figura 4. 14 Evolución del Inventario del Producto 1 en la Tienda 2



Fuente: Elaboración propia, 2025

Para el Producto 2 en la Tienda 1, la Tabla 4.5 presenta los valores optimizados de inventario, pedidos y costos. Se observa un stock promedio de 86.29 unidades, lo que indica una política de inventario más conservadora en comparación con la Tienda 2 del Producto 1, asegurando una mayor disponibilidad de productos.

La rotación de inventario se mantiene en 3.07, lo que implica una renovación moderada del stock durante el período analizado. Además, la cobertura de inventario, con 2.28 períodos, sugiere que los niveles de inventario pueden sostener la demanda por un tiempo razonable antes de requerir reabastecimiento.

En términos de costos, el costo promedio por período asciende a \$ 23.46, reflejando una inversión equilibrada en la gestión del inventario. Destacablemente, el nivel de servicio es 100%, lo que confirma que el sistema de reaprovisionamiento ha sido eficaz para satisfacer completamente la demanda, evitando desabastecimiento.

En conclusión, la Tienda 1 mantiene un esquema de inventario que prioriza la disponibilidad del producto sin incurrir en costos excesivos. Aunque la rotación es menor que en otros escenarios, el alto nivel de servicio sugiere que la estrategia implementada es adecuada para garantizar el abastecimiento continuo y la satisfacción del cliente.

Tabla 4. 5 Resultado de Optimización del Producto 2 en Tienda 1

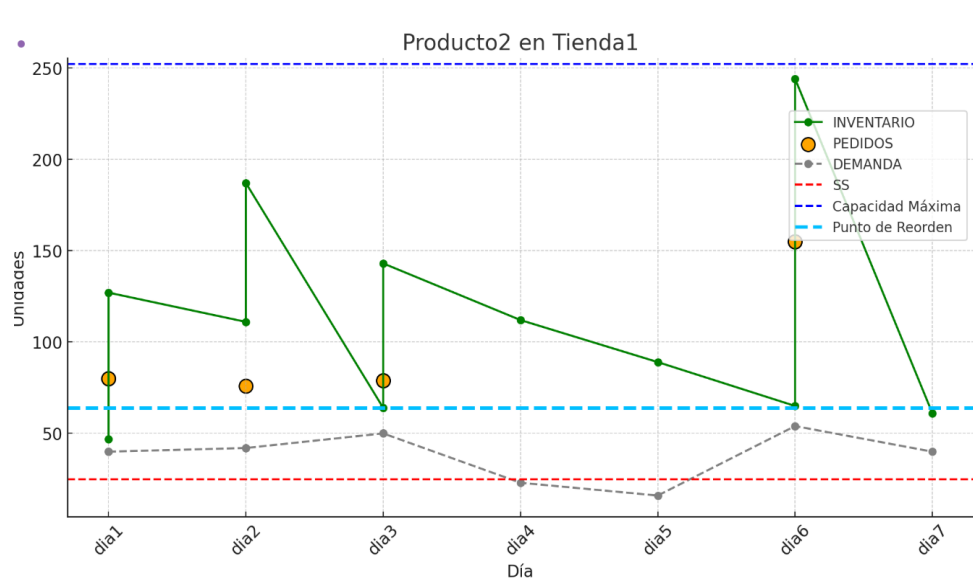
			PRODUCTO 2 EN LA TIENDA 1							
Atributo	Producto	Tienda	Periodo1	Periodo2	Periodo3	Periodo4	Periodo5	Periodo6	Periodo7	Total
C de Pedido	Producto2	Tienda1	19.5	18.5	19.3			37.8		95.1
C Mantenimiento	Producto2	Tienda1	5.9	14.0	8.1	14.1	8.2	11.2	7.7	69.1
Costo Total	Producto2	Tienda1	25.4	32.5	27.3	14.1	8.2	49.0	7.7	\$ 164.2
d.Demanda	Producto2	Tienda1	40.0	42.0	50.0	23.0	16.0	54.0	40.0	
Inventario ini	Producto2	Tienda1	47.0	111.0	64.0	112.0	89.0	65.0	61.0	
K.Capacidad	Producto2	Tienda1	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	
reorder.point.Re	Producto2	Tienda1	64	64	64	64	64	64	64	
ss.SS	Producto2	Tienda1	25	25	25	25	25	25	25	Total
x.values.Pedido	Producto2	Tienda1	80.0	76.0	79.0			155.0		

Fuente: Elaboración propia, 2025

La Figura 4.15 muestra la evolución del inventario del Producto 2 en la Tienda 1, donde los pedidos se activan oportunamente al alcanzar el punto de reorden (64 unidades), evitando desabastecimiento. A diferencia de otros escenarios, el inventario rara vez desciende al stock de seguridad (25 unidades), garantizando un nivel de servicio del 100%.

El stock promedio (86.29 unidades) permite una cobertura de 2.28 períodos, asegurando disponibilidad sin sobrealmacenamiento. Con una rotación de inventario de 3.07 y un costo promedio de \$ 23.46 por período, la gestión es eficiente y estable.

Figura 4. 15 Evolución del Inventario del Producto 2 en la Tienda 1



Fuente: Elaboración propia, 2025

La Tabla 4.6 presenta los resultados de la optimización del inventario para el Producto 2 en la Tienda 2, evidenciando un esquema de gestión más dinámico y ajustado a la demanda. El stock promedio (54.57 unidades) es moderado, lo que permite minimizar costos de almacenamiento sin comprometer significativamente la disponibilidad del producto.

La rotación de inventario (4.69) indica un ciclo de renovación más frecuente en comparación con otras tiendas, reflejando una política de reposición ágil. Sin embargo, la cobertura de inventario se sitúa en 1.49 períodos, lo que implica que el stock disponible cubre la demanda por un tiempo más reducido, requiriendo reabastecimiento frecuente.

En términos financieros, el costo promedio por período (\$ 19.73) es relativamente eficiente, optimizando la inversión en inventario. No obstante, el nivel de servicio (89.8%) revela que, si bien la mayoría de la demanda se cubre adecuadamente, existen períodos donde el inventario no fue suficiente para satisfacer completamente los requerimientos.

Tabla 4. 6 Resultado de Optimización del Producto 2 en Tienda 2

			PRODUCTO 2 EN LA TIENDA 2								
Atributo	Producto	Tienda	Periodo1	Periodo2	Periodo3	Periodo4	Periodo5	Periodo6	Periodo7	Total	
C de Pedido	Producto2	Tienda2	30.7		14.6	15.4		15.6	13.7	89.9	
C Mantenimiento	Producto2	Tienda2	4.0	12.0	7.3	6.5	8.1	3.7	6.5	48.1	
Costo Total	Producto2	Tienda2	34.7	12.0	21.9	21.9	8.1	19.3	20.2	\$ 138.0	
d.Demanda	Producto2	Tienda2	58.0	16.0	56.0	45.0	22.0	32.0	27.0		
Inventario ini	Producto2	Tienda2	32.0	95.0	58.0	52.0	64.0	29.0	52.0		
K.Capacidad	Producto2	Tienda2	188.0	188.0	188.0	188.0	188.0	188.0	188.0		
reorder_point.Re	Producto2	Tienda2	52	52	52	52	52	52	52	52	
ss.SS	Producto2	Tienda2	19	19	19	19	19	19	19	19	Total
x_values.Pedido	Producto2	Tienda2	126.0		60.0	63.0		64.0	56.0		

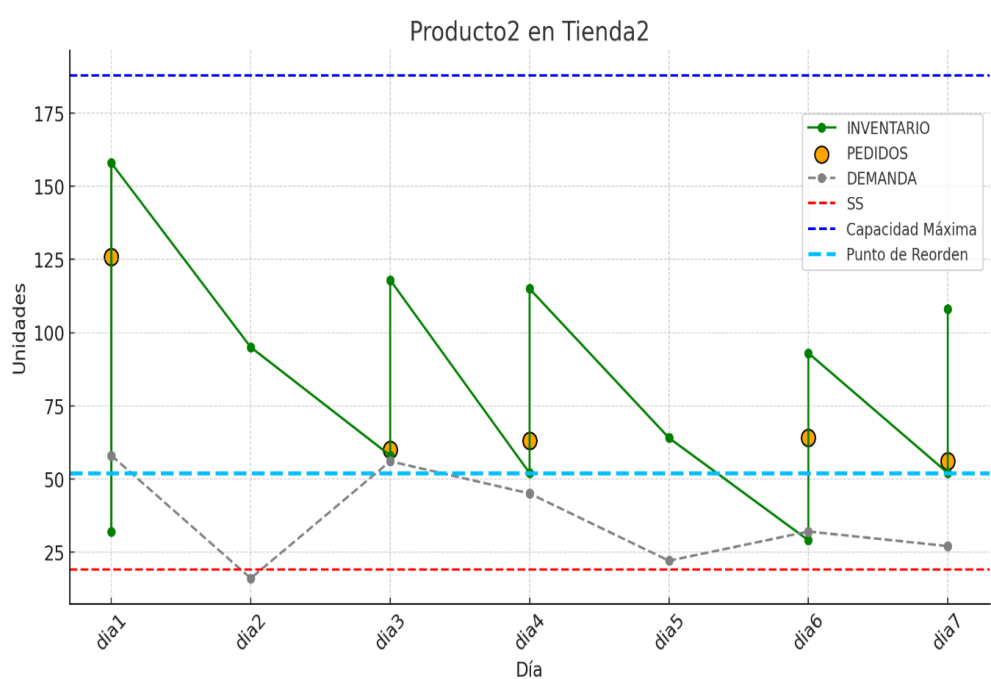
Fuente: Elaboración propia, 2025

La Figura 4.16 representa la evolución del inventario del Producto 2 en la Tienda 2, evidenciando una gestión con fluctuaciones significativas. Se observa que los niveles de inventario disminuyen de manera recurrente hasta alcanzar el punto de reorden (52 unidades, línea azul discontinua), lo que activa el reabastecimiento mediante pedidos estratégicamente distribuidos.

Un aspecto relevante es la cercanía del inventario al stock de seguridad (19 unidades, línea roja discontinua) en varios períodos, lo que sugiere un margen de respuesta reducido ante variaciones inesperadas en la demanda. Además, la reposición del inventario ocurre de manera regular, asegurando una recuperación del stock sin generar excesos innecesarios.

Visualmente, la interacción entre inventario y demanda confirma la necesidad de un monitoreo constante para evitar quiebres de stock. Si bien el sistema de reabastecimiento responde de manera efectiva, el comportamiento del inventario indica que ajustes en la frecuencia o el volumen de los pedidos podrían optimizar aún más la estabilidad del sistema, mejorando el nivel de servicio sin comprometer la eficiencia operativa.

Figura 4. 16 Evolución del Inventario del Producto 2 en la Tienda 2



Fuente: Elaboración propia, 2025

4.7 Comparación de la propuesta optimizada vs modelo actual

El análisis comparativo de la Tabla 4.7 entre la situación actual y la optimización de costos y desempeño operacional muestra mejoras significativas en diversos indicadores clave de desempeño, con excepción del costo de pedido, que presenta un incremento.

Tabla 4. 7 Comparativo de la Situación Actual vs Optimización

Dimension	Situacion Actual	Optimizacion	Diferencia	%
C de Pedido	\$ 6,420.00	\$ 7,080.7	\$ 660.69	10%
C desabastecimiento	\$ 789.00	\$ 86.8	\$ -702.3	-89%
C Mantenimiento	\$ 10,540.00	\$ 8,483.2	\$ -2,056.84	-20%
C. Totales	\$ 17,749.00	\$ 15,650.6	\$ -2,098.39	-12%
Nivel de servicio	85.3%	94.8%	9.5%	9.5%
Dias de rotacion promedio por tienda	8.95	5.20	-3.75	-42%
% merma por obsolescencia	1.5%	0.5%	-1.0%	-67%

Fuente: Elaboración propia, 2025

Costo de Pedido: Se observa un aumento del 10%, pasando de \$6,420.00 a \$7,080.70. Este incremento sugiere que, aunque la optimización mejora otros aspectos, el costo asociado a la realización de pedidos se ha elevado. Esto podría deberse a una mayor frecuencia de pedidos de adquisición de inventario.

Costo de Desabastecimiento: Se registra una disminución del 89%, reduciéndose de \$789.00 a \$86.80. Esta mejora sustancial indica una reducción drástica en las pérdidas ocasionadas por la falta de inventario, lo que a su vez está relacionado con una mejor planificación de la demanda y una mayor disponibilidad de productos en los puntos de venta.

Costo de Mantenimiento: Se evidencia una reducción del 20%, de \$10,540.00 a \$8,483.20. Este descenso sugiere que la optimización ha permitido disminuir el costo de almacenamiento y conservación del inventario, mediante ajustes en los niveles de stock y mejoras en la eficiencia operativa.

Costo Total: La reducción global del 12% en los costos totales, de \$17,749.00 a \$15,650.60, refleja el impacto positivo de la optimización en la gestión del inventario y los costos asociados. Esta reducción está impulsada principalmente por la disminución en los costos de mantenimiento y desabastecimiento.

Nivel de Servicio: Se ha incrementado en un 9.5%, pasando del 85.3% al 94.8%. Este aumento en el nivel de servicio indica una mayor capacidad para satisfacer la demanda de los clientes, lo que se debe a una mejor gestión del inventario y una reducción en los quiebres de stock.

Días de Rotación Promedio por Tienda: Se observa una reducción del 42%, pasando de 8.95 días a 5.20 días. Esta disminución implica una mayor eficiencia en la rotación del inventario, lo que reduce los costos de almacenamiento y mejora la disponibilidad de productos frescos en las tiendas.

Porcentaje de Merma por Obsolescencia: Se reduce en un 67%, de 1.5% a 0.5%. Esta mejora significativa sugiere una estrategia más eficiente en la administración del inventario, evitando acumulaciones innecesarias y minimizando las pérdidas por productos que superan su vida útil o pierden valor comercial.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. El estudio estadístico de los datos históricos de las ventas ha permitido identificar patrones de demanda, tendencias y estacionalidades relevantes en la planificación de reaprovisionamiento de la categoría de bebidas no alcohólicas. Estos hallazgos confirman la importancia de incorporar factores como eventos locales y estacionalidad con el propósito de optimizar la planificación del inventario y que sirva como base para el modelo de gestión de abastecimiento.
2. La evaluación del proceso actual evidenció las limitaciones y oportunidades de mejora como ruptura de inventario y sobreinventario que impactaban de forma negativa en la rentabilidad. Problemas que se debían principalmente a la falta de precisión en la predicción de la demanda y a la rigidez en los parámetros de reaprovisionamiento, lo que justifica la necesidad de un modelo dinámico y adaptativo.
3. El algoritmo predictivo desarrollado, basado en técnicas de las series temporales y programación estocástica, demostró que es efectivo. Logró una reducción del 12% en los costos totales asociados al reaprovisionamiento.
4. Las simulaciones realizadas con el modelo matemático evidencian una mejora sustancial en la eficiencia de la gestión del inventario. Una reducción del 42% en los días de rotación promedio por tienda refleja un uso más dinámico y optimizado de los productos, lo que no solo disminuye los costos de almacenamiento, sino que también garantiza una mejor disponibilidad de artículos frescos para los clientes.
5. En base a los resultados del modelo, las estrategias implementadas lograron incrementar la disponibilidad de productos en un 9.5%, y reducir la merma por

obsolescencia en 67%. Además, que el modelo optimizó el uso de espacio de almacenamiento, priorizando productos de mayor rotación y rentabilidad.

6. El enfoque matemático utilizado permite ajustar dinámicamente las variables críticas, como el stock de seguridad y los puntos de reorden, en función de la variabilidad de la demanda y el desempeño de los proveedores. Esta capacidad de adaptación mejora la resiliencia de la cadena de suministro frente a imprevistos operativos.
7. La incorporación de técnicas de pronóstico basadas en series temporales y simulaciones Monte Carlo ha permitido anticipar variaciones en la demanda con mayor precisión. Esto ha sido crucial para la planificación estratégica del inventario y la adaptación a cambios estacionales o eventos comerciales.
8. El modelo respetó las restricciones físicas de almacenamiento de cada tienda, optimizando el uso del espacio disponible y priorizando productos de mayor rotación y rentabilidad.
9. Este trabajo de investigación no solo proporciona una solución práctica para la optimización de inventarios, sino que también enriquece el desarrollo teórico en la aplicación de modelos estocásticos en logística y cadenas de suministro, especialmente en el contexto de mercados emergentes como el ecuatoriano.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda una implementación progresiva del modelo en tiendas piloto antes de su despliegue completo. Esto permitirá ajustar los parámetros operativos en función de las particularidades de cada tienda y validar su impacto en tiempo real.
2. Es crucial capacitar al personal encargado en el uso de herramientas de modelación y análisis estadístico, asegurando una gestión eficiente del sistema. Adicionalmente, se deben establecer métricas claras para monitorear el desempeño del modelo.
3. Incorporar tecnologías avanzadas como sistemas de monitoreo con inteligencia artificial y plataformas de análisis en tiempo real fortalecerá la implementación del modelo y facilitará la toma de decisiones basada en datos.
4. Extender el modelo a otras categorías de productos para validar su versatilidad y escalabilidad, además de realizar agrupaciones por proveedor y producto para así hacer más eficiente los pedidos.
5. Fomentar la firma de acuerdos de servicios con los proveedores para mejorar los tiempos de entrega y optimizar las rutas logísticas.
6. Realizar simulaciones periódicas con la información actualizada para evaluar la efectividad del modelo frente a cambios en la dinámica o las condiciones del mercado.

6. Referencias

- Agrawal, N. (2013). Optimal inventory management for a retail chain with diverse store demands. *European Journal of Operational Research*, Pages 393-403. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.10.006>.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637–65. doi:doi:10.1086/260062
- Boyle, P. P. (1977). A Monte Carlo approach. *Journal of Financial Economics*, 323-338. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(77\)90005-8](https://doi.org/10.1016/0304-405X(77)90005-8)
- Chopra, S., & Meindl, P. (2018). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. (7ht ed.).
- Christopher, M. (2022). *Logistics and Supply Chain Management*. FT Press. Pearson UK.
- Doboriginidze, G. P. (2021). Optimization of Inventory Management in the Supply Chain. *Journal of Communication and Computer*, 16, 1-5. https://www.researchgate.net/publication/352995909_Optimization_of_Inventory_Management_in_the_Supply_Chain.
- Düsterhöft, T., & Hübner, A. (2023). *Problems and Opportunities of Applied Optimization Models in Retail Space Planning*. *International Series in Operations Research & Management Science*, vol 339. Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-031-27058-1_8
- Falsone, A., Margellos, K., & Prandini, M. (2017). *A decentralized approach to multi-agent MILPs: finite-time feasibility and performance guarantees*. Retrieved from [airxiv.org: https://arxiv.org/abs/1706.08788](https://arxiv.org/abs/1706.08788)
- Hariga, M. A.-A.-R. (2007). A joint optimisation model for inventory replenishment, product assortment, shelf space and display area allocation decisions. *European Journal of Operational Research*, Pages 239-251. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.025>.
- Heizer, J., & Render, B. (2008). *Dirección de la producción y de operaciones: Decisiones tácticas* Editorial Pearson, 58-60. Editorial Pearson, 58-60.
- Hull, J., & White, A. (1993). One-Factor Interest-Rate Models and the Valuation of Interest-Rate Derivative Securities. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 235-254. doi:10.2307/2331288

- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice (2nd ed.)*. OTexts. Retrieved from <https://otexts.com/fpp3/>
- Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., & Schönberger, J. (2021). *Global Supply Chain and Operations Management: A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value (Springer Texts in Business and Economics)*. Springer.
- Martínez Granados, F. A. (2018). *Metodología para la generación de pronósticos de la demanda de corto plazo de productos nuevos para el sector de consumo masivo de bebidas no alcohólicas*. Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/42854>.
- Mecalux. (2022). *Consolidación de pedidos: en qué consiste*. Retrieved from Mecalux.es: <https://www.mecalux.es/blog/consolidacion-de-pedidos>
- Ross, S. M. (2014). *Introduction to probability models (11 th ed.)*. Academic Press. Retrieved from https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/introduction-to-probability-model-s.ross-math-cs.blog_.ir_.pdf
- Shapiro, A., & Homem-de-Mello, T. (1998). *A simulation-based approach to two-stage stochastic programming with recourse*. *Mathematical Programming*, 81(3), 301–325. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF01580086>
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2016). *Inventory and production management in supply chains (4th ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315374406>.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2022). *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*. (2da ed.). McGraw-Hill/Irwin.
- Singh, K. P., Malik, A., & Mohan, D. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water Research*, 38(18), 3980-3992. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.011>
- Snyder, L. V., & Shen, Z.-J. M. (2011). *Fundamentals of Supply Chain Theory*. John Wiley & Sons.
- Stevenson, W. J. (2020). *Operations Management (14th ed.)*. McGraw Hill.

7. ANEXOS

Apéndice A: Código en R para generar los 100 escenarios

```
1 # Cargar las librerías necesarias
2 library(forecast)
3 library(readxl)
4 library(dplyr)
5 library(openxlsx)
6
7 # Definir la ruta del archivo de entrada y salida
8 ruta_entrada <- "C:/002 DEMANDA DIARIA/ventas3años.xlsx"
9 ruta_salida <- "C:/002 DEMANDA DIARIA/pronosticos_escenariosFEBR.xlsx"
10
11 # Leer el archivo de Excel
12 ventas <- read_excel(ruta_entrada)
13
14 # Verificar las columnas
15 print("Columnas del dataset:")
16 print(colnames(ventas))
17
18 # Convertir la columna de fecha a tipo Date
19 ventas$Fecha <- as.Date(ventas$Fecha, format = "%Y-%m-%d")
20
21 # Crear una función para pronosticar la demanda con múltiples escenarios (Monte Carlo)
22 pronosticar_demanda_escenarios <- function(datos, tienda, producto, dias_pronostico = 30, n_escenarios = 100) {
23   print(paste("Procesando Tienda:", tienda, "- Producto:", producto)) # Mensaje de progreso
24
25   # Filtrar los datos por tienda y producto
26   datos_filtrados <- datos %>%
27     filter(TiendaID == tienda, ProductoID == producto) %>%
28     select(Fecha, valor)
29
30   if (nrow(datos_filtrados) == 0) {
31     print(paste("No hay datos para TiendaID:", tienda, "y ProductoID:", producto))
32     return(NULL)
33   }
34
35   # Convertir a una serie de tiempo (ajustar frecuencia si es necesario)
36   serie_tiempo <- ts(datos_filtrados$valor, frequency = 7) # Suponiendo que la demanda es diaria con estacionalidad semanal
37
38   # Ajustar un modelo ARIMA automáticamente
39   modelo <- auto.arima(serie_tiempo)
```

```

40
41 # Obtener residuos del modelo
42 residuos <- modelo$residuals
43 sd_residuos <- sd(residuos, na.rm = TRUE) # Desviación estándar de los residuos
44
45 # Generar 100 escenarios utilizando simulaciones de Monte Carlo
46 escenarios <- matrix(NA, nrow = dias_pronostico, ncol = n_escenarios)
47 for (i in 1:n_escenarios) {
48   # Predecir valores futuros
49   prediccion <- forecast(modelo, h = dias_pronostico)$mean
50
51   # Agregar ruido aleatorio basado en la distribución de los residuos
52   ruido <- rnorm(dias_pronostico, mean = 0, sd = sd_residuos)
53
54   # Escenario con incertidumbre
55   escenarios[, i] <- prediccion + ruido
56 }
57
58 # Convertir los valores a enteros y asegurarse de que sean positivos
59 escenarios <- round(pmax(escenarios, 0))
60
61 # Crear un data frame con los resultados
62 resultados <- data.frame(
63   TiendaID = tienda,
64   ProductoID = producto,
65   Periodo = rep(1:dias_pronostico, each = n_escenarios),
66   Escenario = rep(1:n_escenarios, times = dias_pronostico),
67   Valor = as.vector(escenarios)
68 )
69
70 return(resultados)
71 }
72
73 # Crear una lista para almacenar los resultados de todas las combinaciones de tienda y producto
74 resultados_finales <- list()
75
76 # Obtener las combinaciones únicas de tienda y producto
77 combinaciones <- ventas %>%
78   distinct(TiendaID, ProductoID)

```

```

40
41 # Generar 100 escenarios utilizando simulaciones de Monte Carlo
42 escenarios <- matrix(NA, nrow = dias_pronostico, ncol = n_escenarios)
43 for (i in 1:n_escenarios) {
44   escenarios[, i] <- simulate(modelo, nsim = dias_pronostico)
45 }
46
47 # Convertir los valores a enteros y asegurarse de que sean positivos
48 escenarios <- round(pmax(escenarios, 0))
49
50 # Crear un data frame con los resultados
51 resultados <- data.frame(
52   TiendaID = tienda,
53   ProductoID = producto,
54   Periodo = rep(1:dias_pronostico, each = n_escenarios),
55   Escenario = rep(1:n_escenarios, times = dias_pronostico),
56   Valor = as.vector(escenarios)
57 )
58
59 return(resultados)
60 }
61
62 # Crear una lista para almacenar los resultados de todas las combinaciones de tienda y producto
63 resultados_finales <- list()
64
65 # Obtener las combinaciones únicas de tienda y producto
66 combinaciones <- ventas %>%
67   distinct(TiendaID, ProductoID)
68
69 # Generar pronósticos para cada combinación de tienda y producto
70 for (i in 1:nrow(combinaciones)) {
71   tienda <- combinaciones$TiendaID[i]
72   producto <- combinaciones$ProductoID[i]
73
74   resultado <- pronosticar_demanda_escenarios(ventas, tienda, producto)
75
76   if (!is.null(resultado)) {
77     resultados_finales[[length(resultados_finales) + 1]] <- resultado
78   }
79 }
80
81 # Combinar todos los resultados en un solo data frame
82 if (length(resultados_finales) > 0) {
83   resultados_completos <- do.call(rbind, resultados_finales)
84
85   # Guardar los resultados en un archivo Excel
86   write.xlsx(resultados_completos, file = ruta_salida, rowNames = FALSE)
87
88   # Mensaje de confirmación
89   print(paste("Los pronósticos se han guardado en:", ruta_salida))
90 } else {
91   print("No se generaron pronósticos debido a la falta de datos.")
92 }
93

```

Apéndice B: Modelización en Gams

```
1 SETS
2   i   Productos      /Producto1*Producto20/
3   j   Tiendas        /Tienda1*Tienda20/
4   t   Periodos       /Periodo1*Periodo7/
5   s   Escenarios     /s1*s3/;
6
7 option Threads = 16;
8 option ResLim = 3600;
9
10 PARAMETERS
11   c(i,j), h(i,j), b(i,j), d(i,j,t,s), p(s), K(i,j), ss(i,j);
12
13 $gdxin "C:\002 DEMANDA DIARIA\costos.gdx"
14 $load c h b
15 $gdxin
16
17 $gdxin "C:\002 DEMANDA DIARIA\demandafinal.gdx"
18 $load d
19 $gdxin
20
21 $gdxin "C:\002 DEMANDA DIARIA\capacidadalmacenamiento.gdx"
22 $load K
23 $gdxin
24
25 * Calcular el stock de seguridad como el 10% de la capacidad máxima y redondearlo a entero
26 ss(i,j) = ROUND(0.10 * K(i,j), 0);
27
28 * Asignar probabilidades uniformes para los escenarios
29 p(s) = 1 / CARD(s);
30
31 * Parámetro temporal para la demanda
32 PARAMETER d_temp(i,j,t);
33 PARAMETER pedido_minimo(i,j);
34
35 * Calcular el pedido mínimo como el 30% de la capacidad máxima y redondearlo a entero
36 pedido_minimo(i,j) = ROUND(0.30 * K(i,j), 0);
37
38 * Calcular la demanda promedio para cada producto-tienda
39 PARAMETER demanda_promedio(i,j);
40 demanda_promedio(i,j) = SUM((t,s), d(i,j,t,s) * p(s)) / CARD(t);
41
42 * Calcular el punto de reorden para cada producto-tienda y redondearlo a entero
43 PARAMETER reorder_point(i,j);
44 reorder_point(i,j) = ROUND(demanda_promedio(i,j) + ss(i,j), 0);
45
46 VARIABLES
47   x(i,j,t)      "Cantidad a ordenar"
48   n(i,j,t)      "Inventario final"
49   z             "Costo total esperado"
50   Shortage(i,j,t) "Cantidad de desabastecimiento"
51   y(i,j,t)      "Variable binaria para política de reabastecimiento"
52   w(i,j,t)      "Variable auxiliar para linealización";
53
54 POSITIVE VARIABLES n, Shortage,w;
55 INTEGER VARIABLES x;
56 BINARY VARIABLES y;
```

```

58 EQUATIONS
59     Obj                "Función objetivo"
60     ShortageDef(i,j,t) "Definición de desabastecimiento"
61     Balance(i,j,t)     "Balance de inventario"
62     StorageLimit(i,j,t) "Restricción de capacidad de almacenamiento"
63     SafetyStock(i,j,t) "Restricción de stock de seguridad"
64     PedidoMinimo(i,j,t) "Restricción de pedido mínimo"
65     BinaryConstraint(i,j,t) "Restricción de decisión"
66     ReorderConstraint(i,j,t) "Restricción de punto de reorden";
67
68 * Función objetivo
69 Obj .. z =E= SUM((i,j,t),
70     c(i,j) * x(i,j,t) +
71     h(i,j) * n(i,j,t) +
72     b(i,j) * Shortage(i,j,t));
73
74 * Definición de desabastecimiento
75 ShortageDef(i,j,t) ..
76     Shortage(i,j,t) =G= d_temp(i,j,t) - n(i,j,t);
77
78 * Balance de inventario
79 Balance(i,j,t) ..
80     n(i,j,t) =E= (n(i,j,t-1) $ (ORD(t) > 1)) + x(i,j,t) - d_temp(i,j,t);
81
82 * Restricción de stock de seguridad
83 SafetyStock(i,j,t) ..
84     n(i,j,t) =G= ss(i,j);
85
86 * Restricción de capacidad de almacenamiento
87 StorageLimit(i,j,t) ..
88     n(i,j,t) =L= K(i,j);
89
90 * Restricción de pedido mínimo
91 PedidoMinimo(i,j,t) ..
92     x(i,j,t) =G= pedido_minimo(i,j) * y(i,j,t);
93
94 * Definir un valor grande para BIG
95 SCALAR BIG /1e6/;
96
97 * Restricción para limitar x(i,j,t) en función de y(i,j,t)
98 BinaryConstraint(i,j,t) ..
99     x(i,j,t) =L= BIG * y(i,j,t);
100
101 * Restricción de Punto de Reorden
102 ReorderConstraint(i,j,t) ..
103     y(i,j,t) =G= (reorder_point(i,j) - n(i,j,t)) / BIG;
104
105 MODEL StochasticInventory /all/;
106
107 * Bucla de simulaciones Monte Carlo
108 PARAMETER
109     results(s)    "Resultados de cada simulación",
110     z_values(s)   "Almacena todos los valores de z",
111     x_values(i,j,t,s) "Valores de x para cada escenario",
112     y_values(i,j,t,s) "Valores de inv final a cada escenario";
113
114 LOOP(s,
115     d_temp(i,j,t) = d(i,j,t,s);
116     SOLVE StochasticInventory USING MIP MINIMIZING z;
117     results(s) = z.L;
118     z_values(s) = z.L;
119     x_values(i,j,t,s) = x.L(i,j,t);
120     y_values(i,j,t,s) = y.L(i,j,t);
121 );
122
123 * Mostrar resultados
124 DISPLAY results, z_values, x_values;
125
126 * Calcular estadísticas
127 PARAMETER mean_result, std_result;
128 mean_result = SUM(s, results(s)) / CARD(s);
129 std_result = SQRT(SUM(s, SQR(results(s) - mean_result)) / CARD(s));
130
131 DISPLAY mean_result, std_result;
132
133 * Crear un parámetro para la tabla de resultados
134 PARAMETER tabla_resultados(s, *) "Tabla de resultados por escenario";
135 tabla_resultados(s, "Escenario") = ORD(s);
136 tabla_resultados(s, "Costo_Total") = results(s);
137 tabla_resultados(s, "z_values") = z_values(s);
138
139 * Mostrar la tabla de resultados para depuración
140 DISPLAY tabla_resultados;
141
142 * Exportar la tabla a un archivo Excel
143 $set gdxout tabla_resultados.gdx
144 $gdxout tabla_resultados.gdx
145 $unload tabla_resultados
146 $gdxout
147
148 $call gdxrrv.exe tabla_resultados.gdx o=tabla_resultados.xlsx par=tabla_resultados rng=Sheet1!A1
149
150 * Mensaje de finalización
151 DISPLAY "La tabla de resultados se ha exportado a tabla_resultados.xlsx";

```