



Propuesta de aplicación un modelo de inventarios estocástico para demanda variable en la
empresa Centro Automotor Castro

Pedro Andrés Porras Ramírez

Yeny Patricia Vergara Giraldo

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

Trabajo de Grado

Juan Sebastián Martínez Grisales

Diciembre del 2025

Contenido

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Título de la propuesta.....	5
Planteamiento del problema.....	5
Pregunta de investigación	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos	11
Justificación	12
Estado del arte.....	14
Marco teórico	19
Marco conceptual.....	25
7.1 tipo de investigación	31
7.2 diseño de investigación.....	31
7.4 variables del estudio.....	32
7.5 técnicas e instrumentos	33
7.8 etapas del estudio	35
Resultados.....	35
Discusión y conclusiones.....	74
Recomendaciones	74
Referencias.....	79

RESUMEN

La gestión de inventarios constituye un aspecto crítico para la sostenibilidad de las empresas dedicadas a la compraventa de vehículos usados, donde la rotación influye directamente en los costos y la rentabilidad; el presente trabajo se centra en el caso de la empresa Centro Automotor Castro, ubicada en Ibagué, que enfrenta problemas de baja rotación y elevados costos de mantenimiento y para atender esta problemática se propone el diseño de un modelo estocástico de rotación de inventario que considere la demanda variable del sector.

El proyecto adopta una metodología cuantitativa y descriptiva, fundamentada en el análisis de datos históricos de ventas, costos y tiempos de permanencia, así como en la recolección de información mediante encuestas: a partir de estos insumos, se busca comparar y adaptar modelos estocásticos que permitan simular escenarios, proyectar la demanda y evaluar estrategias de rotación; de esta manera, se pretende generar una herramienta aplicable y ajustada a la realidad empresarial de Centro Automotor Castro.

El aporte esperado del estudio consiste en ofrecer un modelo analítico que optimice la gestión de inventarios, reduzca la permanencia de vehículos y mejore la rentabilidad de la compañía y además, se espera fortalecer la competitividad del concesionario frente a un mercado caracterizado por la alta variabilidad en la demanda y la fuerte competencia y finalmente, el proyecto busca contribuir al desarrollo académico y práctico de modelos estocásticos en el sector automotor colombiano, con posibilidades de replicarse en otras empresas del mismo ámbito.

Palabras clave: modelos estocásticos, rotación de inventarios, demanda variable, vehículos usados, rentabilidad, gestión empresarial.

ABSTRACT

Inventory management is a critical factor for the sustainability of companies dedicated to the purchase and sale of used vehicles, where turnover directly influences costs and profitability; this study focuses on the case of Centro Automotor Castro, located in Ibagué, a company that faces low rotation levels and high maintenance costs, and to address this issue, a stochastic inventory rotation model is proposed that incorporates the variable demand of the sector. The project adopts a quantitative and descriptive methodology supported by the analysis of historical data on sales, costs and permanence times, as well as the collection of information through surveys; based on these inputs, the study aims to compare and adapt stochastic models that allow the simulation of scenarios, demand projection and evaluation of rotation strategies, thereby generating a tool applicable and aligned with the operational reality of Centro Automotor Castro.

The expected contribution of this research is to provide an analytical model that optimizes inventory management, reduces vehicle permanence and improves the company's profitability, while strengthening the competitiveness of the dealership in a market characterized by high demand variability and intense competition; additionally, the project seeks to contribute to the academic and practical development of stochastic models within the Colombian automotive sector, with potential for replication in other companies of the industry.

Keywords: stochastic models, inventory turnover, variable demand, used vehicles, profitability, business management.

TÍTULO DE LA PROPUESTA

Propuesta de aplicación un modelo de inventarios estocástico para demanda variable en la empresa Centro Automotor Castro.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Formulación del Problema

La administración de los niveles de inventario en la industria automotriz colombiana ha empezado a convertirse en un elemento vital para la sostenibilidad financiera de las firmas: la rotación de inventario se presenta como una de las medidas que indica la cantidad de veces que se logra dar salida a las existencias en un horizonte temporal, teniendo un efecto directo sobre la liquidez de las empresas y su rentabilidad(Autostore System, 2024). Una baja rotación supondrá la permanencia de vehículos por períodos más largos en los patios de inventario, lo que conllevará un incremento de los costos derivados del espacio, del seguro, del mantenimiento y de la depreciación, lo que necesariamente traerá consigo la reducción de los márgenes de utilidad.

En el contexto nacional, la venta de vehículos usados presenta una dinámica relevante: por cada automóvil nuevo vendido, se transan aproximadamente 3,5 usados (Maxiautos, 2024); siendo un comportamiento que se debe a la subida del costo de los vehículos nuevos y a la facilidad de crédito para los de segunda mano: siendo un escenario que permite que los niveles de competencia se eleven, generando así ciclos de rotación más cortos aumentan su competitividad frente a quienes presentan inventarios poco dinámicos.

La depreciación constituye otro elemento crítico. En Colombia, un automóvil puede perder entre el 10 % y 20 % de su valor en los primeros 24 a 48 meses acorde con el Decreto 30

de 1989 (Autofact, 2024): cuando un vehículo permanece por periodos prolongados en inventario, esta depreciación se acelera, obligando a la empresa a aplicar descuentos que reducen la rentabilidad (ComparaOnline, 2023); por tanto, es un problema que se agrava si se acumulan vehículos menos demandados, pues la obsolescencia de los modelos disminuye el interés del comprador.

En este contexto se ubica la empresa Centro Automotor Castro, ubicada en Ibagué, dedicada a la compra y venta de vehículos usados; la cual cuenta con más de 15 años en el mercado, se dedica a la compra y venta de vehículos usados. Actualmente cuenta con un patio de almacenamiento con capacidad aproximada de 170 automóviles, en el cual se gestionan los inventarios de forma tradicional mediante registros manuales y reportes básicos en hojas de cálculo; contando con un sistema que carece de herramientas analíticas que permitan proyectar demanda o simular escenarios, lo que ha ocasionado permanencias prolongadas y dificultades en la toma de decisiones estratégicas (Centro Automotor Castro, 2025).

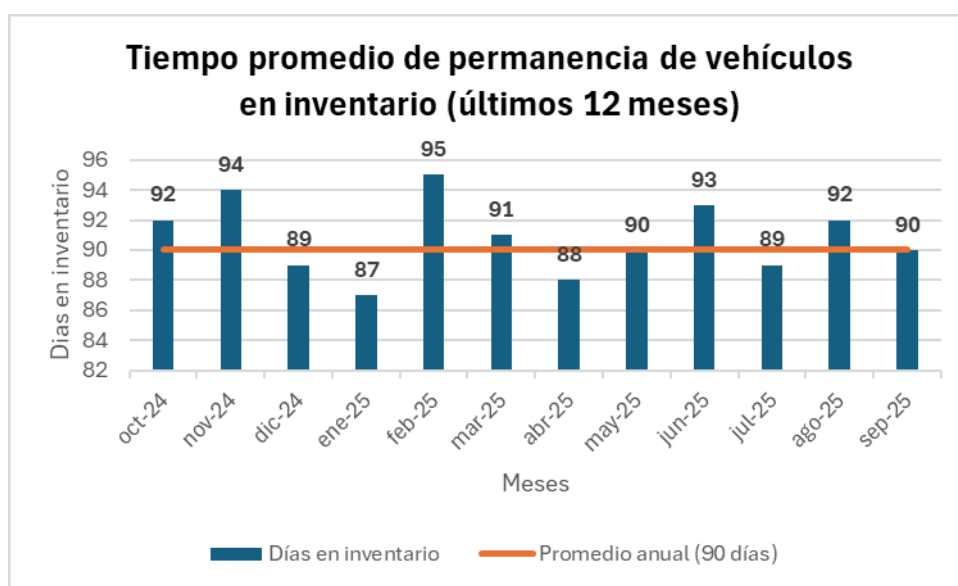
Los principales costos asociados a los vehículos almacenados se derivan de rubros como parqueadero, pólizas de seguro, limpieza y mantenimientos correctivos menores, además de la depreciación mensual de cada unidad; estos gastos han mostrado un incremento constante durante los últimos dos años, elevando el costo promedio de mantener un vehículo en inventario a \$210.000 mensuales; ahora bien, según el Informe de costos operativos de inventario (Centro Automotor Castro, 2025), estos valores han impactado directamente la rentabilidad de la compañía, limitando la capacidad de reinversión en modelos más demandados.

Para contextualizar más se tiene en cuenta que esta compañía ha reportado que el tiempo promedio de permanencia de los automóviles en inventario es de 90 días, cifra que supera significativamente el rango sectorial, que oscila entre 45 y 60 días (Andemos, 2024); lo cual es

una diferencia que refleja una baja rotación, que limita la competitividad y eleva los costos de mantenimiento. Para mayor contextualización se presenta la gráfica asociada al registro con el cual cuenta la empresa a lo largo de los últimos 12 meses, que se lleva en el informe de inventarios (Centro Automotor Castro, 2025).

Figura 1

Tiempo promedio de permanencia de vehículos usados en inventario



Nota: Elaboración propia con base en el Informe de Inventarios del Centro Automotor Castro (2025).

La siguiente tabla presenta una comparación de los principales indicadores de la empresa frente al promedio del sector automotor:

Tabla 1

Comparación de indicadores de inventario

Indicador	Centro Automotor Castro	Promedio sector
Promedio vehículos en inventario	65	50
Rotación mensual (%)	30	45
Tiempo promedio en inventario (días)	90	55

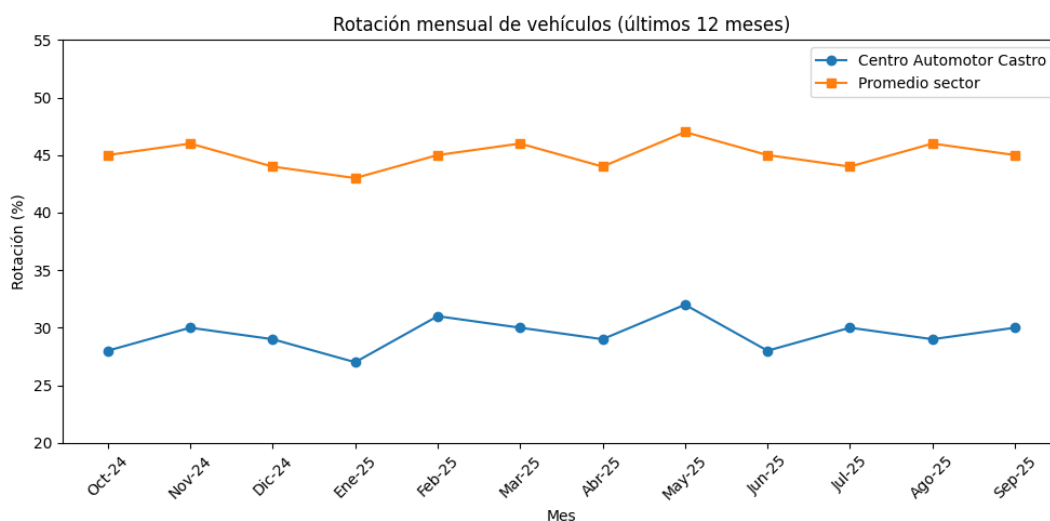
Costo promedio por vehículo (mensual)	\$210.000	\$120.000
Capital inmovilizado (millones)	\$2.925	\$2.250

Fuente: elaboración propia con base en datos sectoriales (Fenalco, 2024; Andemos, 2024; Centro Automotor Centro Autos, 2025).

La rotación mensual de vehículos en la empresa se ubica en apenas un 30 %, mientras que el promedio del sector alcanza el 45 %; siendo una diferencia de quince puntos porcentuales, la cual significa que los automóviles permanecen más tiempo sin venderse, generando costos adicionales y pérdida de oportunidades.

Figura 2

Comparativo Rotación mensual de vehículos



Fuente: elaboración propia con base en datos sectoriales (Fenalco, 2024; Andemos, 2024; Centro Automotor Centro Autos, 2025).

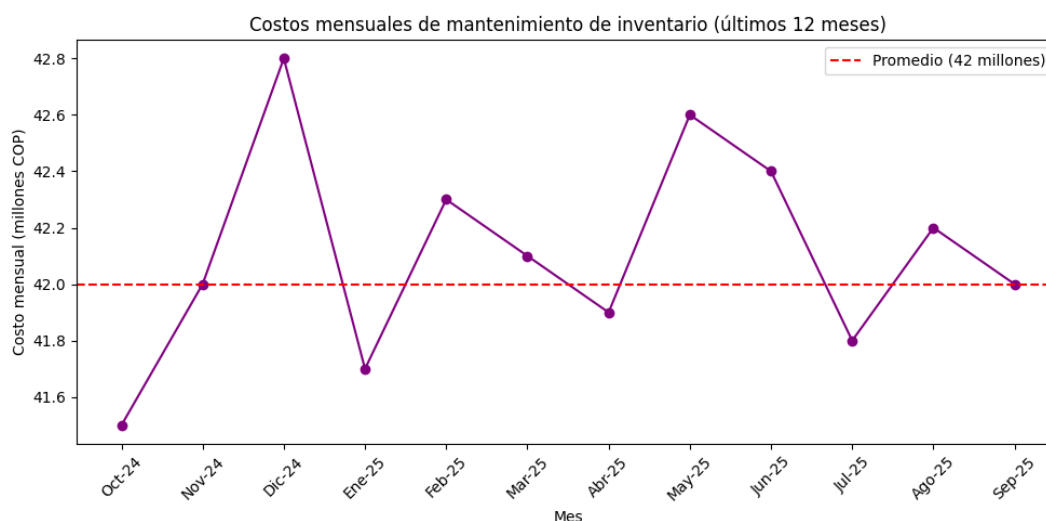
Respecto al tiempo promedio de inventario, la empresa presenta 90 días frente a los 55 días del sector (Centro Automotor Castro, 2025), lo que implica una sobre permanencia de entre

30 y 35 días; evidenciándose un desfase incrementa los costos de depreciación y reduce el atractivo de la oferta.

Los costos de mantenimiento por vehículo se estiman en \$210.000 mensuales, que incluyen parqueadero, seguros, limpieza y depreciación; ahora bien, con un inventario promedio de 65 unidades, la empresa incurre en aproximadamente \$42 millones mensuales en gastos fijos asociados al almacenamiento, lo que proyecta un impacto anual de \$504 millones.

Figura 3

Costos de mantenimiento de los últimos 12 meses en Centro Automotor Castro



A lo anterior se suma la inmovilización de capital; con un valor promedio de \$45 millones por vehículo, el capital congelado en inventario asciende a \$2.925 millones (Centro Automotor Castro , 2025); siendo una situación que limita la capacidad de reinversión en modelos más demandados, reduce la flexibilidad financiera y genera una pérdida de competitividad frente a concesionarios con ciclos de venta más cortos.

En conclusión, la empresa presenta un problema estructural de baja rotación de inventario, reflejado en tiempos prolongados de permanencia de los vehículos, costos operativos elevados y un alto nivel de capital inmovilizado, lo cual limita su capacidad para responder con agilidad a la demanda del mercado. Esta situación impacta directamente la eficiencia del proceso comercial y la rentabilidad global del negocio, ya que mantener unidades en patio por más tiempo incrementa los gastos en parqueadero, mantenimiento y depreciación.

Por lo tanto, se hace necesaria la implementación de un modelo de inventarios estocástico, ajustado al comportamiento variable de la demanda del sector automotor, que permita optimizar los procesos de gestión, reducir los días promedio de permanencia y mejorar la rentabilidad operativa de la empresa.

La elección de este modelo estocástico se fundamenta en las características reales del comportamiento del inventario y de la demanda observadas en la empresa; sabiendo que los registros históricos muestran que las ventas mensuales presentan fluctuaciones significativas, con variaciones que oscilan entre distintos niveles de rotación y permanencia, lo cual evidencia que la demanda no es constante sino aleatoria y este comportamiento variable se confirma tanto en la dispersión de ventas como en los tiempos de permanencia, que muestran rangos amplios entre 87 y 95 días, indicando que el sistema opera bajo incertidumbre.

De acuerdo con la literatura especializada (Silver et al., 2017; Chopra & Meindl, 2022; Browne & Zipkin, 2019), cuando la demanda y los tiempos de movimiento del inventario presentan variabilidad, los modelos determinísticos no son apropiados, ya que no capturan el riesgo asociado a faltantes o excesos y en estos casos, se recomienda aplicar modelos de inventarios estocásticos que incorporen distribuciones de probabilidad, desviación estándar y niveles de servicio, permitiendo anticipar escenarios y optimizar decisiones bajo incertidumbre.

Por lo tanto, la propuesta de un modelo estocástico surge de la evidencia empírica del caso y del marco teórico que respalda su pertinencia.

Pregunta de Investigación

¿Qué modelo estocástico de inventarios permitirá mejorar la gestión de los vehículos en inventario en la empresa Centro Automotor Castro?

Objetivo General

Proponer un modelo estocástico de inventario que optimice la gestión y rentabilidad de la empresa Centro Automotor Castro en la ciudad de Ibagué.

Objetivos Específicos

- Describir la situación actual del modelo de inventario de la empresa Centro Automotor Castro donde se identifiquen los problemas y falencias que son atribuibles a la gestión de los vehículos usados.
- Analizar los principales modelos estocásticos de control de inventarios para evaluarlos en función de las demandas del sector automotor de vehículos usados.
- Elaborar un modelo estocástico ajustado a la demanda variable del sector simulado los escenarios de rotación y rentabilidad en la empresa Centro Automotor Castro.
- Estructurar las estrategias que pudiesen ejecutarse en la implementación del modelo diseñado para la reducción de tiempos de inventario, el cual permita el fortalecimiento de la competitividad y la sostenibilidad financiera de la empresa.

Justificación

La gestión de inventarios constituye uno de los factores con mayor incidencia en el mantenimiento de la salud financiera en empresas que se dedican a la venta de vehículos usados; por ello, podernos abordar esta cuestión desde una óptica estocástica está motivado por la variabilidad y aleatoriedad que caracteriza la demanda de vehículos en ciudades intermedias, donde aspectos ajenos como precios de combustible, probabilidades de obtención de crédito o la propia oferta van a tener incidencia directa en los ciclos de venta (Chopra & Meindl, 2022) dado que este entorno plantea la necesidad de recurrir a metodologías que ofrezcan la posibilidad de prever escenarios y optimizar decisiones.

La puesta en uso de abordajes estocásticos permite que se pueda captar la incertidumbre intrínseca a la rotación de inventarios, ofreciendo soluciones más realistas que los modelos deterministas tradicionales; puesto que a diferencia de estos, el enfoque estocástico sí que introduce distribuciones de probabilidad para la demanda y el tiempo de permanencia, lo cual va a permitir obtener una mejor capacidad de simulación de situaciones futuras y una disminución de riesgos de sobrestock o quiebra (Silver et al., 2017). Con ello, la empresa puede obtener un marco de análisis preventivo y estratégico.

La importancia de implementar un modelo de este tipo también está relacionada con la necesidad de reducir los costos por mantenimiento, depreciación y capital inmovilizado que afectan directamente a la rentabilidad; de acuerdo con Cachon y Terwiesch (2019), una gestión ineficiente de los inventarios puede representar hasta un 30 % de pérdidas en los márgenes operativos en el sector de la automoción. Justificar el proyecto bajo este argumento económico refuerza el sentido del proyecto, ya que optimizar la rotación no solo mejora la facturación, sino que disminuye los costos fijos innecesarios.

Por otro lado, un argumento que legitima el sentido del presente proyecto está ligado a la competitividad en el mercado automotor colombiano; en un entorno en el que todos los concesionarios persiguen agilizar sus ventas, aquellos que pueden mejorar la rotación están en mejor posición de consolidar su posición en el mercado y su capacidad para dar respuesta al cliente (Fenalco, 2024). Justificar la aplicación de un modelo estocástico está, por consiguiente, en función de tener herramientas que mejoren la flexibilidad empresarial y permitan a la compañía reaccionar rápidamente ante las variaciones que presente el mercado, un factor determinante en escenarios postpandemia y de desaceleración económica.

La propuesta también encuentra fundamento en el valor académico y científico que aporta; dado que al llegar a implementar un modelo estocástico de rotación en el sector de vehículos usados abre la posibilidad de validar metodologías de investigación operativa en un campo con poca exploración en Colombia. Según Nahmias y Olsen (2015), el estudio de inventarios con demanda variable fortalece el diseño de políticas logísticas sostenibles y adaptables; así, este proyecto contribuye tanto a la literatura académica como a la solución de una problemática empresarial concreta, con impacto replicable en el sector.

Finalmente, la justificación se apoya en la contribución al desarrollo regional; pues empresas como Centro Automotor Castro generan empleo y dinamizan la economía local; sin embargo, su sostenibilidad depende de mejorar procesos críticos como la gestión de inventarios; de manera que proponer un modelo que reduzca permanencias y optimice recursos financieros incide directamente en la estabilidad de la empresa y en la confianza de sus clientes; no solo atiende un problema empresarial, sino que promueve la eficiencia y la innovación en el mercado automotor colombiano.

ESTADO DEL ARTE

El estado del arte revela los avances prácticos y teóricos de la gestión estocástica de inventarios y su práctica en sectores de alta variabilidad en la demanda; por medio de la revisión de literatura nacional e internacional, se hacen de referencia y se les otorgan importancia a los estudios que abordan la problemáticas de modelos de control, rotación y optimización de inventarios bajo un contexto de incertidumbre; estos estudios ofrecen referentes metodológicos y empíricos que respaldan el uso de un modelo estocástico para el Centro Automotor Castro, ya que evidencian cómo la variabilidad de la demanda y la incertidumbre operativa requieren enfoques probabilísticos para una gestión más precisa.

En el caso de Filipinas, el artículo *The Inventory Management Practices and Organizational Efficiency of a Car Dealer in San Pablo City* (Formeloza, 2023) estudia cómo un concesionario aplica técnicas como FIFO, registros manuales con Excel y bin cards para la gestión de vehículos, suministros y accesorios; tal estudio evidencia que una adecuada gestión de los inventarios reduce los costos operativos y la eficiencia organizativa y da sustento al proyecto dado que ilustra cómo métodos operativos simples y tradicionales pueden dar lugar a cuellos de botella en la rotación, reforzando así la necesidad de un modelo de gestión estocástica más sofisticado para el caso de Centro Automotor Castro.

En Corea del Sur, el artículo (*Optimization and Inventory Management under Stochastic Demand using Metaheuristic Algorithm*) se publicó en la revista PLoS ONE por Tan, Nguyen y otros (2024). Este trabajo establece un sistema de inventarios multiperiodo y demanda estocástica, que busca simultáneamente la maximización del beneficio y la minimización del espacio que ocupan los artículos mediante la aplicación de un algoritmo metaheurístico “Grey Wolf” y realiza análisis de sensibilidad así como varios escenarios de la vida real para la

validación de políticas de revisión periódica y continua, ya que sirve de referente en cuanto a metodologías en el diseño del modelo estocástico de Centro Automotor Castro, sobre todo en lo que respecta al ir equilibrando beneficio vs. espacio y simulando escenarios de acuerdo con lo que pueda ocurrir en un mercado con demanda variable.

En Brasil, José Roberto do Rego y Marco Aurelio de Mesquita (2015) publicaron *Demand Forecasting and Inventory Control: A Simulation Study on Automotive Spare Parts* en *International Journal of Production Economics*. Este estudio trata de grandes políticas de inventarios para repuestos automotrices: comparan diferentes estrategias mediante simulaciones, teniendo en cuenta la demanda histórica en relación con el costo de mantener inventarios y políticas de revisión periódica vs. revisión continua; sus resultados muestran cuáles son las políticas que minimizan el costo total para cada uno de los diferentes perfiles de demanda, por lo que representa una buena base para un antecedente metodológico sobre simulaciones en la rotación de inventarios para autos usados, buena para el diseño del modelo estocástico de rotación puede tomar como referente para esta investigación.

En el contexto de Italia, Ronzoni, Gallo y Zavanella (2015) en *A Stochastic Methodology for the Optimal Management of Spare Parts in the Automotive Sector* proponen un modelo estocástico para la gestión óptima de repuestos al presentar tanto los costos de mantenimiento continuos como los tiempos de almacenaje inciertos: utilizan los datos reales del sector automotriz para ajustar los parámetros de la demanda y simular diferentes escenarios en los que se minimicen los costos totales por el hecho de retener y rotar mercancía. Se trata de un referente directo del tipo de datos y de la metodología a emplear para construir tu modelo estocástico de rotación en Centro Automotor Castro, incluyendo costos de mantenimiento, tiempos de permanencia de los repuestos en el centro logístico y la demanda variable.

Por su parte, Tan, Kim, Long, Nguyen y You (2024) desde la Universidad de Seúl desarrollan en PLOS ONE un artículo en el que se abordan cuestiones de optimización del inventario bajo demanda estocástica recurriendo a un enfoque metaheurístico (Grey Wolf Optimization). El modelo multiperíodo de este estudio busca simultáneamente el equilibrio entre la ganancia esperada y el uso del espacio de almacenamiento, incluyendo un análisis de sensibilidad con escenarios reales. Sin duda, este tipo de enfoque resulta especialmente interesante para el caso de Centro Automotor Castro ya que puede constituir una base actual para simular rotaciones y el análisis de equilibrio entre disponibilidad y rentabilidad dentro del marco de demandas variables.

El texto de J. Mejía et al. (2022) sobre el modelo de inventario con demanda estocástica en un solo período" los autores deducen la demanda a partir de datos históricos escasos o ruidosos y comparan su propuesta con los métodos clásicos para analizar el equilibrio de exceso de inventario y faltantes; siendo una propuesta especialmente interesante para entornos como el del Centro Automotor Castro, donde la información existente es muy limitada. En el mismo sentido, Cuervo-Cruz (2021), en su artículo "Modelos logísticos estocásticos aplicados a la cadena de suministro" publicado en la revista Ingeniería e Investigación de la Universidad Distrital, estudia las distintas posibles aplicaciones de los modelos estocásticos en el inventario, transporte y localización; el trabajo académico muestra que las cadenas logísticas logran mejorar su desempeño mediante el uso de herramientas probabilísticas y enfatiza la necesidad de modelar la demanda impredecible y los costos incurridos en la gestión del inventario; representa este referente nacional un soporte conceptual para considerar la aplicación de modelos estocásticos en la administración del inventario vehicular usado en el Centro Automotor Castro.

En la Universidad de Córdoba, Arrieta Pérez (2018) elaboró un trabajo llamado Modelo estocástico de inventario multiartículo con restricciones múltiples: plantea un modelo (r,Q) - Cantidad fija de pedido - que toma en cuenta factores como la capacidad del almacén, el monto máximo de inversión, la frecuencia de pedidos y los niveles de servicio: reflejando de manera más real lo que pasa en una empresa donde hay limitaciones físicas y financieras: con un enfoque que sirve mucho como referente metodológico para el proyecto de Centro Automotor Castro, porque ayuda a entender cómo incluir restricciones de espacio y presupuesto al diseñar el modelo estocástico de inventarios.

En un artículo publicado en la revista Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería, Martínez-Bernal, Cuervo-Cruz y Orjuela-Castro (2020) presentaron una revisión titulada Modelos logísticos estocásticos: una revisión de la literatura. Allí hacen una clasificación sencilla y clara de los modelos estocásticos usados en inventarios, transporte y producción, mostrando las tendencias y los vacíos que existen en Latinoamérica: explicando cómo los modelos probabilísticos han ayudado a distintas empresas a manejar la incertidumbre en la demanda y en los costos: dando respaldo importante a nivel nacional para aplicar este tipo de modelos en la gestión de inventarios de vehículos usados del Centro Automotor Castro.

En la Revista UIS Ingenierías (Scielo), publicaron Torres y Ramírez (2024) el artículo titulado Aplicación de los modelos de inventario en la cadena de suministro, en donde se aborda cómo diferentes organizaciones productoras y compradoras colombianas combinan modelos de producción y compra para ajustar proceso de inventario más ajustado, llevando a cabo una comparativa entre modelos de política determinística y modelos de política probabilística dentro los entornos donde la demanda cambia. También presentan casos de empresas del sector industrial de la nación, convirtiéndose en un estudio de actualidad, de proximidad, en relación al uso de los modelos de inventario dentro de un contexto colombiano. Esta evidencia apoya el sentido que tiene aplicar un modelo estocástico en la gestión de inventarios del Centro Automotor Castro.

La lectura de la revisión de los estudios deja entrever que la gestión de inventarios en condiciones inciertas es una cuestión amplia y en permanente cambio: cada estudio manifiesta contextos diferentes, desde las concesiones de la unidad del auto hasta cadenas industriales, alcanzando esta serie de estudios el marco común que la variabilidad de la demanda exige modelos flexibles y basados en datos reales: las contribuciones internacionales demuestran que existen modelos elaborados, como puede ser la simulación y el desarrollo de algoritmos metaheurísticos, mientras que las aportaciones nacionales muestran que ya se están adoptando a la realidad colombiana. En este panorama se manifiesta el caso del Centro Automotor Castro: se convierte en una oportunidad para aplicar de forma práctica un modelo estocástico que sirva como una guía para otros negocios del sector que enfrentan los mismos retos de demanda cambiante y recursos limitados.

MARCO TEÓRICO

Fundamentos de la gestión de inventarios

La gestión de inventarios es uno de los subsistemas que se incorporan en el funcionamiento de cualquier organización, puesto que facilita la continuidad operativa, así como las pérdidas por desabastecimiento o sobreabastecimiento. En términos generales el inventario se ocupa de relacionar el número de productos en existencia con la cantidad consumida de los mismos, buscando el equilibrio posible entre el costo de almacenaje y el servicio. Sin su control, los inventarios se pueden convertir en callejones sin salida, capital inmovilizado que no rinde, y, por tanto, es necesario saber gestionarlos, puesto que influyen en la rentabilidad de las empresas. Según Rossi (2019), el control de inventarios se debe considerar como un sistema abierto, dinámico, que permite la medición, puesto que las variaciones del mercado y el cambio en los hábitos de consumo pueden hacer variar notablemente los stocks de buena parte de los productos comercializados.

Los diferentes modelos de inventario comenzaron a desarrollarse ante la problemática de determinar cuándo y cuánto pedir, a partir de los costos de mantenimiento, de pedido y de escasez. Durante décadas, tanto el modelo EOQ (Cantidad Económica de Pedido) como la planificación en términos deterministas fueron el estereotipo de la planificación. No obstante, ambos enfoques suponen que la demanda es constante. Una situación que difícilmente se da en muchos entornos del mundo real; y más aún, en aquellos cuyo producto tiene una demanda variable. En esos casos, la tendencia del modelo determinista es sobrestimar o, por el contrario, infravalorar la necesidad, incurriendo en un costo incluso, en exceso, innecesario. Con todo ello, de acuerdo con Reddy, Yerram y Mallipeddi, (2018), estas limitaciones fueron la causa que

llevaron al desarrollo de modelos que fueran capaces de integrar la incertidumbre dentro del proceso de decisión.

Además de la función de carácter operativo que la gestión de los inventarios ejerce en el desempeño de las organizaciones, la gestión de los inventarios también puede jugar un papel importante en el desempeño organizacional. Es afirmado por Cuervo - Cruz (2021), que las existencias pueden influir en la imagen percibida por el cliente, en la liquidez y competitividad de la organización. En los mercados donde se producen grandes volúmenes y gran variabilidad, el control del mismo deja de ser una labor puramente logística para convertirse en una herramienta de planificación financiera de la organización. En consecuencia, la gestión del inventario deberá analizarse no solo en clave de control de las existencias, sino también teniendo en cuenta su impacto en la viabilidad del negocio.

Modelos estocásticos: variables, supuestos y ventajas

Los modelos estocásticos de inventario se presentan como una progresión natural respecto a los determinísticos, dado el hecho de que la demanda, los plazos de entrega y los costos no se comportan invariablemente. Según Browne y Zipkin (2019), un modelo estocástico se basa en variables aleatorias distribuidas, lo cual permite la toma de decisiones más realistas. Las variables a tener en cuenta son la demanda media y su desviación típica, el nivel de servicio que se espera, los costos de mantener el inventario y los costos por faltantes. El propósito es minimizar el costo total esperado teniendo en cuenta el riesgo a excesos y a faltantes y mantener un equilibrio sostenible del funcionamiento.

El modelo (r, Q) es uno de los más estudiados dentro de esta aproximación. Browne y Zipkin (2019) indican que este modelo trata de un punto de reorden (r) y de una cantidad de pedido (Q) óptima, basada en la probabilidad de que ocurra una falta de inventario antes de

recibir el nuevo pedido. Maitra (2024) complementa que los modelos estocásticos modernos incluyen simulaciones computacionales que permiten evaluar escenarios de diferentes comportamientos de demanda y meta - proyecciones del impacto que aquí é todas tienen sobre los niveles de servicio y sobre los costos operativos y la gestión del inventario deja de ser un cálculo estático para convertirse en un proceso de análisis probabilístico y a lo largo del tiempo.

En contraposición a los modelos determinísticos, los modelos estocásticos gozan de la capacidad de poder adaptarse a la incertidumbre de los datos a través de distribuciones de probabilidad y de análisis de sensibilidad. Tan et al. (2024) expresan que la variabilidad debe entenderse no como un inconveniente, sino como una fuente de información que contribuye a una mejora de la toma de decisiones. El hecho de que los parámetros sean estimados a partir de escenarios probabilísticos permite a las empresas anticipar contingencias y estructurar márgenes de seguridad adecuados. De esta manera se da cabida a que los modelos estocásticos sean referentes a un manejo del riesgo más razonado, lo cual supone una ventaja competitiva importante en situaciones de cambio.

Aplicaciones prácticas y relevancia actual

La literatura científica reciente pone de manifiesto que los modelos estocásticos son, además, modelos que no solo sirven para ayudar con la toma de decisiones en determinadas disciplinas, sino que se utilizan también en los distintos sectores con gran éxito. Autores como Reddy, Yerram y Mallipeddi (2018) sugieren que, para la toma de decisiones, los modelos de cadenas de suministro ayudan a tomar decisiones más precisas bajo incertidumbre y mejoran la planificación de los recursos y su uso. Por su parte, Tan et al. (2024) desarrollan una metodología a metaheurística para gestionar el inventario y optimizar el inventario multiperíodo integrando simultáneamente la maximización de la ganancia y la minimización del espacio de

almacenamiento, concluyendo que los algoritmos evolutivos pueden ser utilizados para la gestión del inventario para diseñar políticas de inventario más fuertes, las cuales puedan adaptarse a los cambios de los datos de la forma más eficiente posible.

En América Latina hay que señalar que la investigación de Cuervo- Cruz (2021) y Martínez -Bernal et al. (2020) evidencia que la presencia de modelos estocásticos dentro de la logística se ha ido afianzando, aunque está lejos de ser común todavía, pero las investigaciones mencionan que si logramos adaptar las tradicionales variables de la gestión tradicional (ej. cantidad óptima, punto de reorden, etc), a las características de cada organización, se presentan más garantías en la toma de decisiones para las mismas. Arrieta Pérez (2018) hace una propuesta de modelo de multiartículo también con restricciones de frecuencia de pedido, de capacidad y de inversión en los modelos que a su vez permite una mejor adaptación a las circunstancias particulares, como una visión más práctica.

Los resultados son corroborados, en opinión de Torres y Ramírez (2024), por el hecho de que las empresas que utilizan modelos probabilísticos aumentan sus niveles de servicio y mejoran el tiempo medio de permanencia de los productos en los inventarios en la medida en que el acceso a información y a sistemas de datos se va generalizando y las empresas pueden implementar modelos potentes sin necesidad de grandes infraestructuras tecnológicas. De este modo se amplían las posibilidades de que enfoques estocásticos se vayan desarrollando en una práctica más habitual de la gestión empresarial.

Análisis de la incertidumbre y herramientas de simulación

Un aspecto fundamental dentro de la teoría que estudia los modelos estocásticos corresponde a la forma que se elige para modelar la incertidumbre. La variabilidad de la demanda, los tiempos de entrega o de mantenimiento no pueden eliminarse, pero sí que pueden

llegar a representar a través de distribuciones de probabilidad. Rossi (2019) indica que la clave para que un modelo estocástico llegue a ser correcto consiste en estimar correctamente esas distribuciones y realizar pruebas de sensibilidad que permitan ver cómo se comportan esos resultados ante distintas condiciones. Las simulaciones de Monte Carlo, por ejemplo, son una técnica ampliamente empleada para la exploración del comportamiento de un sistema bajo condiciones aleatorias, intentando entender de esa manera la naturaleza de los riesgos y sus eventuales impactos.

Por otra parte, las herramientas para simulación computacional permiten integrar grandes volúmenes de datos y poner en estrategias prácticas sin alterar la operación real. En palabras de Maitra (2024), la combinación de simulación y optimización “produce resultados más consistentes que las metodologías analíticas tradicionales, cuando las circunstancias ambientales se caracterizan por la inestabilidad” (p. 1133) También se ha combinado con algoritmos heurísticos y metaheurísticos, como el Grey Wolf Optimization, que permiten buscar óptimas en espacios de decisión complejos. En definitiva, la simulación permite establecer un puente entre la teoría estocástica y la práctica operativa, ya que permite experimentar y validar políticas en caso de que sean aplicadas.

Con base en estos fundamentos teóricos y antecedentes, el proyecto avanza hacia el diseño de un modelo estocástico ajustado a la realidad operativa del Centro Automotor Castro, integrando los elementos de incertidumbre, rotación y rentabilidad analizados en esta sección.

Modelo estocástico (r , Q)

Dentro del amplio conjunto de modelos estocásticos revisados en la literatura, el modelo de punto de reorden y cantidad fija de pedido (r , Q) se posiciona como la estructura teórica más

adecuada para entornos con demanda incierta y ciclos de reposición irregulares, como ocurre en la gestión de vehículos usados. Este modelo establece que debe emitirse un pedido cada vez que el inventario baja al nivel r , y que dicho pedido tiene una magnitud fija Q previamente calculada. Browne y Zipkin (2019) sostienen que esta política permite responder a la incertidumbre a través del control simultáneo del nivel de seguridad y del equilibrio entre costos de faltante y costos de mantenimiento.

La teoría explica que el punto de reorden r incorpora la demanda esperada durante el tiempo de reposición (Lead Time) y un inventario de seguridad determinado por la variabilidad de la demanda y el nivel de servicio deseado. De este modo, la relación clásica

$$r = \mu LT + z \cdot \sigma LT$$

permite anticiparse a episodios de baja rotación, fluctuación en ventas o retrasos en el abastecimiento. Silver, Pyke y Peterson (2017) indican que esta formulación es especialmente útil cuando existe riesgo de desbalance entre la velocidad de consumo y la oferta, ya que reduce la probabilidad de quiebres al mantener un amortiguador probabilístico que se ajusta a la volatilidad del mercado.

La cantidad fija de pedido Q se determina a partir del costo total esperado, integrando los costos de almacenamiento, emisión de pedidos y faltantes. En contextos como el automotor colombiano, donde la permanencia prolongada genera depreciaciones significativas, el cálculo de Q permite fijar una política cuantitativa que evita acumulaciones innecesarias y mantiene niveles eficientes de rotación. Según Singh y Singh (2021), esta política es una de las más efectivas para mercados de alta variabilidad porque permite estabilizar la frecuencia de reposición y asegurar coherencia entre la disponibilidad del inventario y el comportamiento real de la demanda.

Autores como Maitra (2024) señalan que el modelo (r, Q) también facilita la simulación de escenarios futuros bajo distintas distribuciones de demanda, permitiendo proyectar niveles de servicio y rangos de inventario óptimo. Esta flexibilidad garantiza que la política pueda adaptarse a meses de mayor venta, picos estacionales o periodos de ralentización sin perder coherencia funcional. En sectores donde el valor del inventario es alto —como los concesionarios de vehículos usados— la capacidad de ajustar dinámicamente r y Q se convierte en un elemento clave para preservar la rentabilidad y la liquidez.

En consecuencia, el modelo (r, Q) proporciona una base conceptual sólida para estructurar políticas de reorden ajustadas a la realidad operativa del Centro Automotor Castro y su formulación probabilística, su capacidad para anticipar fluctuaciones de demanda y su equilibrio entre costo, disponibilidad y servicio lo convierten en el marco teórico central sobre el que se soporta el diseño del modelo estocástico propuesto en esta investigación.

Marco conceptual

Demanda variable

La demanda variable traduce una situación donde las solicitudes de los clientes o unidades vendidas no se mantienen constantes, sino que se van produciendo variaciones que pueden llegar a ser muy destacables e incluso sorprendentes; en la investigación en gestión de inventarios este concepto representa un problema ya que los más tradicionales que gestionan la rotación del stock suponen que la demanda es una variable muy estable, mientras que la realidad muestra que esta variable puede variar en función de la época del año, por ejemplo, o de la elección del cliente, de las promociones e incluso de eventos extraños: por ejemplo, Ma, Rossi y Archibald. (2019) en su revisión del control estocástico de inventarios citan que la variabilidad

de la demanda lleva a revisar muy frecuentemente la cantidad de producto para determinado stock y cuándo es el momento de hacer un nuevo pedido.

En el modelo estocástico de inventario la demanda variable, habitualmente, se modela como una distribución de probabilidad (normal, Poisson, etc.), con parámetros tales como la media μ y la desviación σ , y el análisis teórico sostiene que, a medida que σ aumenta o se disminuye la predictibilidad, se incrementa el riesgo de rendimientos faltantes, de excesos en el inventario de producto terminado, Bookdown (2024) considera que los modelos de revisión continua o periódica deben adaptarse a estas condiciones. Desde una cierta perspectiva de aplicación, la demanda variable exige que la empresa se plantee algunas opciones patrimoniales más dinámicas: buffers de seguridad, incrementar la frecuencia de revisión, simulaciones de escenarios, monitorización constante; ya que, de lo contrario, si una empresa no reconoce dicha variabilidad, puede acabar con inventarios que se mueven poco y un margen reducido y por lo que tener un conocimiento adecuado de qué es la demanda variable y cómo influye en el inventario, es una pieza clave para elaborar políticas efectivas ajustadas con la realidad del negocio.

Punto de reorden (r) y cantidad de pedido (Q)

El “punto de reorden” (r) y la “cantidad de pedido” (Q) son dos de las variables más fundamentales en muchos modelos de inventarios, especialmente en los estocásticos. El punto de reorden es el nivel de inventario en el que se debe realizar un nuevo pedido, mientras que la cantidad Q se refiere a cuántas unidades se deben solicitar en ese momento. Estos conceptos han sido ampliamente abordados por Browne & Zipkin (2019), los cuales analizan el modelo (r, Q) bajo demanda estocástica y demuestran que un sistema que realmente sigue una política de este tipo puede operar de forma más fuerte bajo incertidumbre. En la literatura se defiende que ambas

variables deben ser calculadas apropiadamente teniendo en cuenta los costos de mantener inventario (holding) y los costos de escasez (shortage), así como la cifra de la demanda esperada y su variabilidad. Un modelo que no tiene en cuenta estos aspectos provoca de un modo u otro que se activen pedidos demasiado tarde (lo que provoca faltantes) o demasiado pronto (lo que provoca exceso de inventario). Por eso, Compston (2016) se hace eco de que el cálculo óptimo de r y Q depende del grado de la forma de la función de distribución de la demanda y del tiempo de entrega.

Rotación de inventarios

La rotación de inventarios se conoce como la frecuencia con la que los productos se venden o utilizan durante un período de tiempo determinado; es una ratio que nos da cuenta de la eficacia de la transformación del inventario en ventas en una empresa. Según Mula, Peidro y Díaz-Madroñero (2017), una alta rotación significa mayor liquidez y menor inmovilización de recursos y, a la inversa, una baja rotación puede significar destacar unos altos niveles de existencias o una baja capacidad comercial. Este concepto es medir generalmente del conocimiento entre el costo de ventas y el promedio de inventarios permitiendo verificar la eficacia del sistema logístico. Esto es así, porque la rotación de inventarios no sólo lo debe ser percibida desde un punto de vista financiero, sino que refleja también el grado de sincronización existente entre la oferta y la demanda. Según Mentzer y Moon (2020), los inventarios son una forma de compensar las diferencias en la cadencia de la producción y el consumo, de tal manera que una rotación equilibrada es sinónimo de armonía y estabilidad, de forma que si la relación entre ambas se rompe, se produce un aumento de costos de mantenimiento y una reducción en la disponibilidad de producto por lo que se considera de vital importancia realizar

un seguimiento continuo de la misma con el objetivo de evitar acumulaciones de inventario innecesarias.

En entornos de demanda incierta, el razonamiento que rodea la rotación incrementa su valor estratégico en función de la visibilidad que aporten los modelos de inventarios estocásticos, tal y como indican Singh y Singh (2021), que permitirá una estimación de probabilidades de venta y ajustar niveles de reposición a fin de asegurar un flujo de inventarios constante. Por lo tanto, la rotación dejaría de ser tan sólo un dato que mide el desempeño para convertirse en un elemento de orientación de decisiones tácticas y de planeación.

Costo total esperado

El costo total esperado, el cual engloba los diferentes componentes de gasto vinculados al manejo del inventario, gastos de pedido, de mantenimiento, escasez o de compra, se puede analizar para calcular su valor de costo medio en función de los diferentes niveles de incertidumbre de la demanda o el tiempo de entrega. Browne y Zipkin (2019) explican que el objetivo de cualquier modelo de inventario ya sea determinístico o estocástico, es el de minimizar el costo total esperado. Es decir, se intenta equilibrar el gasto que supone tener demasiado stock con la posible pérdida de ventas por escasez de producto. Rossi (2019) pone de manifiesto que el costo total esperado no es una cifra fija, sino que es como una función de la orden estática cuyo comportamiento depende de la naturaleza aleatoria del sistema. Cada decisión de reordenar afecta al conjunto de los costos y modifica el sistema financiero del inventario con el que se trabaja. Por este motivo, la mayoría de los modelos probabilísticos incluyen simulaciones que permiten comprobar cómo varían los resultados frente a diferentes combinaciones de variables, considerándose este análisis como un tipo de análisis más realista, sobre todo para sectores en los cuales los precios o la demanda van cambiando constantemente.

Las empresas que calculan el costo total esperado ayudan a la implantación de políticas de inventarios sostenibles en el tiempo. Arrieta Pérez (2018) hace un paralelismo entre el costo medio en el que la empresa incurre al mantener su stock y los umbrales de control que deben establecerse para definir las estrategias de optimización. Este concepto le sirve a la empresa como una herramienta para poder equilibrar los objetivos de rentabilidad; de disponibilidad y de eficiencia operativa.

Nivel de servicio

El nivel de servicio hace referencia a la probabilidad de satisfacer la demanda sin incurrir en faltantes y puede definirse en dos formas complementarias según la teoría clásica de inventarios; el Nivel de Servicio Tipo I, también llamado probabilidad de no ruptura, mide la probabilidad de que no se presenten faltantes durante el Lead Time y se expresa como el porcentaje de ciclos en los que el inventario no llega a cero, por lo que está directamente asociado al parámetro z del modelo (r, Q) y al cálculo del punto de reorden.

El Nivel de Servicio Tipo II, o fill rate, corresponde al porcentaje de demanda efectivamente atendida con inventario disponible y expresa cuántas unidades solicitadas pueden ser servidas sin demoras, representando un enfoque basado en unidades y no en ciclos, lo que permite comprender el impacto real sobre las ventas; Chopra y Meindl (2021) señalan que estos indicadores permiten articular el equilibrio entre confiabilidad y costo del inventario, mientras que autores como Mentzer y Moon (2020) afirman que un nivel de servicio adecuado debe balancear el riesgo de escasez con el costo financiero de mantener stock, siendo el cálculo del punto de reorden la herramienta operativa que permite alcanzar dicho equilibrio al incorporar explícitamente la variabilidad de la demanda durante el Lead Time..

METODOLOGIA

La metodología establece el camino que ha seguido la investigación a fin de dar respuesta al problema, desde la selección del tipo de enfoque del estudio hasta las fases de recolección y análisis de la información; tomándose como punto de referencia la propuesta metodológica de Hernández Sampieri (2023) y Bernal Torres (2016), quienes argumentan que el método ha de ser coherente, entre otros, con los objetivos y las características del fenómeno estudiado.

7.1 Tipo de investigación

El presente estudio se sitúa dentro del enfoque cuantitativo, no experimental y descriptivo-aplicado. En palabras de Hernández Sampieri (2023), el enfoque cuantitativo es aquel que se caracteriza por analizar las variables observables bajo el contexto natural en el que se encuentra, con la meta de medir las relaciones y comportamientos sin manipular las variables.

Es un enfoque descriptivo-aplicado: alineándose con Bernal Torres (2016), ya que implica mantener la línea que une la teoría y la práctica y que ayuda a tomar decisiones en el seno de esta empresa.

7.2 Diseño de investigación

El diseño metodológico seleccionado es el diseño no experimental transversal porque el análisis se realiza en base a datos históricos y datos actuales, sin manipular el contexto real. En el análisis cualitativo, Hernández Sampieri (2023) frente a la no experimental, el diseño no experimental está centrado en observar fenómenos susceptibles a esta observación y registro de sus variables en un único momento del tiempo.

7.3 Población y muestra

La población objeto de estudio consiste en los vehículos usados que fueron contabilizados en el inventario durante el periodo analizado y en la amplitud de la plantilla que participa

directamente y efectivamente en la gestión de inventarios y ventas y como el tipo de muestra utilizada fue una muestra no probabilística, intencionada, la composición de la misma la constituyen los registros de los últimos inventarios y ventas hechos en el último año fiscal, junto con los costos reflejados, así como los registros históricos de 15 trabajadores (10 del área comercial y 5 del área administrativa) que tienen una experiencia mayor de seis meses.

Los criterios de inclusión son los registros de contabilidad y operativos análogos, completos y verificables, y el personal que participa directamente en las decisiones de comprar y vender y también se excluyen los vehículos que están en consignación, como también se excluyen a los empleados con menos de seis meses de antigüedad.

7.4 Variables del estudio

Tabla 1
Variables de estudio

Variable	Tipo	Medición	Fuente de datos
Rotación de inventario	Cuantitativa continua	Costo de ventas / Inventario promedio (mensual/anual)	Registros históricos (Excel/contabilidad)
Días de permanencia	Cuantitativa discreta	Promedio de días en patio por unidad	Ficha de extracción
Costo de mantenimiento	Cuantitativa continua	COP por unidad/mes (lavado, parqueo, seguros)	Registros de costos
Nivel de servicio	Cuantitativa	% pedidos/prospectos atendidos sin faltante interno	Reportes internos
r (punto de reorden) / Q (cantidad)	Decisión del modelo	Cálculo por política (r, Q) con demanda variable	Hoja de simulación

Nota. Elaboración propia con base en registros internos y datos del estudio.

Estas variables se basan en las recomendaciones de Hernández Sampieri (2023) sobre medición y operacionalización en estudios descriptivos.

7.5 Técnicas e instrumentos

Tabla 2
Técnicas

Enfoque	Técnica	Instrumento	Propósito de uso
Cuantitativo	Revisión documental	Ficha de extracción de datos (plantilla en Excel con campos: fecha ingreso/salida, días en inventario, costo de mantenimiento, precio de venta, margen)	Estandarizar la captura de variables desde los registros históricos (inventario, ventas, costos).
Cuantitativo	Encuesta estructurada (interna)	Cuestionario cerrado tipo Likert (12 ítems) dirigido exclusivamente a los 15 colaboradores	Levantar percepciones internas sobre prácticas de reposición, causas de permanencia y cumplimiento de políticas.
Cuantitativo	Análisis estadístico-descriptivo	Libro de trabajo en Excel (tablas dinámicas; validaciones)	Calcular indicadores: rotación, días promedio de permanencia, costos de mantenimiento, márgenes.
Cuantitativo	Simulación de escenarios	Hoja de simulación (distribuciones de demanda; cálculo de r y Q; prueba de niveles de servicio)	Probar el modelo estocástico bajo demanda variable y umbrales de servicio/costo.
Cuantitativo	Juicio de expertos interno (sesión breve)	Guía de validación (checklist de criterios: factibilidad, costos, capacidad, tiempos)	Contrastar supuestos del modelo con los responsables internos antes de proponer implementación.

Nota. Elaboración propia con base en las técnicas seleccionadas para el estudio.

7.6 Recolección de datos

Las etapas de recolección de datos serán complementarias y se desarrollarán en varias fases; en la primera se consolidará la información secundaria de inventarios, ventas y costos correspondiente al periodo 2023–2025, unificando los registros en una ficha de extracción en Excel que facilite la trazabilidad, la depuración de valores y el cálculo posterior de los indicadores de rotación y días promedio de permanencia, en la segunda etapa se aplicará una encuesta estructurada a quince colaboradores del área operativa y comercial para identificar percepciones internas sobre

prácticas de reposición, tiempos de venta y factores que influyen en la permanencia prolongada de los vehículos, y en la tercera etapa se integrarán ambas fuentes dentro de una misma base de datos estadística con el propósito de contrastar los resultados numéricos con la opinión interna del personal para fortalecer el análisis del comportamiento interno del inventario.

Adicionalmente, se incluirán fuentes externas del mercado automotor en Colombia, tales como informes de ANDEMOS, datos del RUNT, reportes del Ministerio de Transporte y estadísticas del DANE que permitirán observar el comportamiento histórico de ventas, matrículas y transferencias por tipo de vehículo, con ello se busca contextualizar las tendencias nacionales y comparar la dinámica interna de Centro Automotor Castro con las condiciones reales del sector, identificando si la rotación interna es coherente con el movimiento del mercado o si existen brechas que deban ser atendidas mediante un modelo estocástico de inventarios que optimice el reabastecimiento y reduzca la permanencia en patio.

7.7 Análisis de datos

El análisis se llevará a cabo en dos partes, la primera con medidas estadísticas básicas que permitirán la detección de tendencias de rotación y permanencia con el soporte de hojas de cálculo, la segunda parte con distintos escenarios de demanda para ver su efecto sobre las variables de decisión (r y Q) y, finalmente, se revisarán los resultados obtenidos con el personal del concesionario para comprobar si reflejan su situación real.

7.8 Etapas del estudio

Tabla 3

Etapas de estudio

Etapas	Descripción del procedimiento	Objetivo específico asociado
Análisis inicial	Recolección y depuración de datos históricos. Aplicación de encuestas.	Analizar la situación actual.
Análisis comparativo	Revisión de literatura Comparación de modelos estocásticos aplicables.	Identificar el modelo estocástico base más adecuado.
Diseño y simulación	Procesamiento de datos. Simulación	Diseñar un modelo estocástico acorde a las necesidades
Validación	Evaluación de resultados	Formular estrategias de mejora

Nota. Elaboración propia con base en la estructura metodológica planteada para el estudio.

RESULTADOS

Análisis de la situación actual de la gestión de inventarios

Para comprender de manera precisa cómo opera actualmente el inventario en el Centro Automotor Castro fue necesario iniciar con un análisis detallado de la información disponible, identificando patrones, vacíos y comportamientos que influyen directamente en la rotación y en los costos asociados al mantenimiento de los vehículos; el cual sirve como punto de partida para estructurar un diagnóstico confiable y permite avanzar hacia las etapas posteriores con una base de datos depurada y coherente con la realidad operativa de la empresa.

Etapas 1. Recolección y depuración de datos históricos

En la primera etapa se buscó consolidar toda la información histórica relacionada con el inventario del Centro Automotor Castro con el fin de comprender cómo ha evolucionado la rotación, la permanencia y los costos asociados al almacenamiento de vehículos en el patio; este proceso partió de la necesidad de unificar registros que, hasta ahora, se encontraban dispersos

entre archivos contables, hojas de cálculo aisladas y reportes que cada área generaba de manera independiente, lo que había generado inconsistencias y ausencia de comparabilidad entre periodos y categorías de automóviles. Al organizar esta información se pretendió obtener una base sólida que permitiera analizar patrones reales del comportamiento del inventario, eliminar sesgos generados por registros incompletos y establecer criterios homogéneos para la medición de los indicadores operativos que se utilizan en la literatura de gestión de inventarios bajo demanda variable.

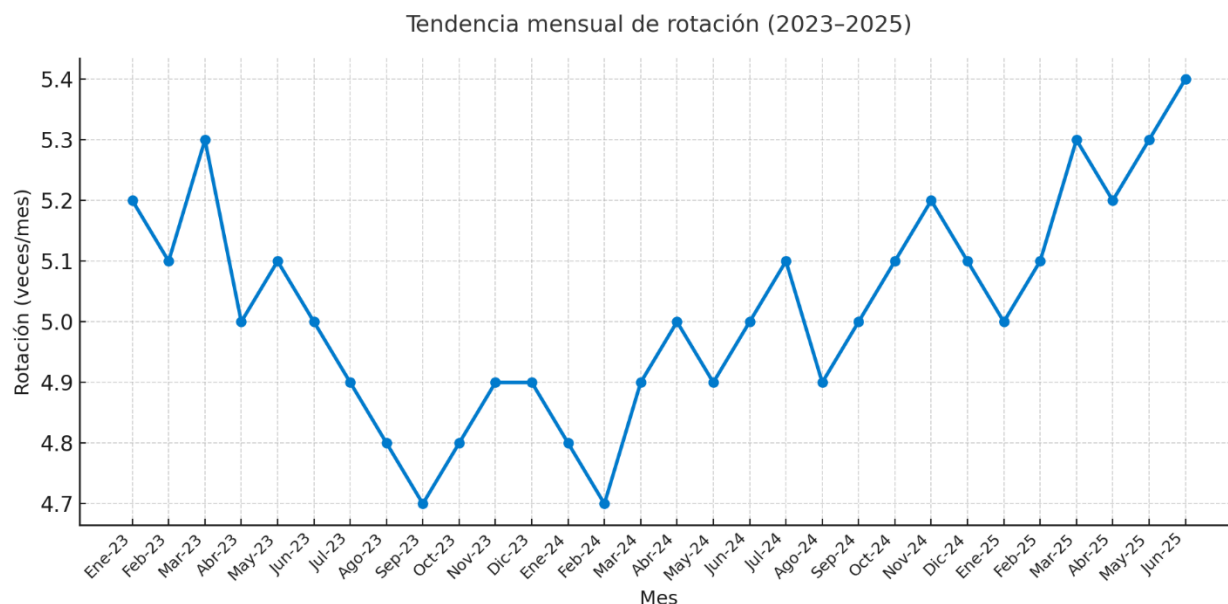
Posteriormente se llevó a cabo un proceso de depuración y estandarización que consistió en revisar duplicados, corregir formatos, normalizar categorías de vehículos y verificar que cada unidad contara con fecha de ingreso, salida y costos asociados, ya que sin esta limpieza previa no habría sido posible realizar comparaciones confiables entre años ni alimentar de forma consistente las etapas posteriores del análisis estocástico; esta fase también permitió identificar fallas importantes en la forma en que la empresa venía registrando los movimientos del inventario, lo cual reforzó la necesidad de fortalecer su sistema de control. Una vez el consolidado quedó depurado fue posible calcular los indicadores que sirven como punto de partida para diagnosticar el desempeño del inventario en los últimos periodos.

Se integraron los registros de inventario correspondientes al periodo enero 2023 a junio de 2025 provenientes de los archivos contables y reportes de ventas del Centro Automotor Castro: en la depuración se estandarizaron los formatos, se eliminaron duplicados y se clasificaron los vehículos por tipo, año, cilindraje y condición mecánica. De esta información se calcularon los principales indicadores operativos.

Tabla 4*Indicadores históricos de inventario (2023–2025)*

Indicador	Fórmula	Empr esa 2023	Empr esa 2024	Empr esa 1ºS 2025	Sector Colombia (Referencia estimada)	Interpreta ción comparati va
Rotación de inventario (veces/año)	Costo ventas / Inventario prom.	5,3	4,8	5,2	7,0–7,5 veces/año (Fenalco/AND EMOS 2024)	La rotación interna es más lenta que la media del mercado.
Días de permanencia	360/Rotación	68	75	70	48–55 días recomendados sector	La empresa permanece +15 a +25 días más por unidad.
Costo mantenimiento/unidad	Σ costos / N° vehículos	\$184.00	\$204.00	\$210.00	\$120.000–\$150.000/mes típico patios comerciales	Mayor costo por tiempo excesivo y depreciación.
Margen bruto por venta	$(\text{Venta} - \text{Costo}) / \text{Venta} \times 100$	17,1%	15,9%	16,4%	18%–22% promedio comercio usado	Margen menor por rotación baja y permanencia larga.

Nota. Elaboración propia con base en registros históricos internos del inventario 2023–2025 y referencia sectorial de Fenalco (2024).

Figura 1*Tendencia mensual de rotación (2023–2025)*

Nota. Elaboración propia con base en registros históricos del Centro Automotor Castro (2023–2025).

La tendencia mensual de rotación evidencia fluctuaciones entre 2023 y 2024, con mínimos a mediados de 2024 y una recuperación sostenida hacia el primer semestre de 2025: se evidencia un proceso de ajuste en las políticas de inventario y una leve mejora en la dinámica de ventas, coherente con la proyección de incremento de rotación anual mostrada en la Tabla.

Etapas 2. Aplicación de encuestas internas

En la segunda etapa se incorporó un componente de percepción interna con el propósito de contrastar los indicadores numéricos con la experiencia cotidiana de las personas que participan en la gestión del inventario y en el proceso comercial; esta combinación resulta necesaria porque los datos históricos permiten identificar tendencias, pero solo la opinión del personal revela cómo se aplican en la práctica las políticas de reposición, cuáles son las

dificultades diarias y qué elementos del proceso influyen realmente en la permanencia prolongada de los vehículos en el patio. Para ello se diseñó una encuesta estructurada que incluye dimensiones relacionadas con control de inventario, criterios de reposición y percepción del impacto financiero, buscando captar la manera en que cada colaborador interpreta la dinámica del inventario y los factores que inciden en la rotación.

El levantamiento de esta información se desarrolló de forma directa con los quince colaboradores que intervienen en las decisiones de compra, registro, exhibición y venta, lo que permitió asegurar que las respuestas provinieran de quienes conocen de primera mano los procesos internos. Antes de su aplicación, el instrumento fue validado por juicio de expertos y ajustado para garantizar claridad y pertinencia en cada ítem, ya que la intención era obtener información precisa y comparable sobre prácticas, hábitos y vacíos en el control del inventario. La articulación entre los resultados de la encuesta y los datos históricos facilitó identificar brechas entre lo que los indicadores muestran y cómo los equipos perciben la gestión actual, aportando un insumo valioso para la modelación futura.

Para contrastar la información numérica con la percepción del personal, se aplicó una encuesta estructurada de 12 ítems con escala Likert (1 = Nunca → 5 = Siempre), dirigida a los 15 colaboradores responsables de la gestión de inventarios y ventas: previamente este instrumento fue validado por juicio de expertos y agrupado en tres dimensiones las cuales se presentan a continuación.

Tabla 5*Estructura del instrumento aplicado*

Dimensión	Ítems representativos	Escala de respuesta
Control de inventario	1. ¿Se actualiza el inventario en tiempo real? 2. ¿Existen reportes mensuales unificados? 3. ¿El registro físico coincide con el digital?	1 = Nunca / 2 = Casi nunca / 3 = A veces / 4 = Casi siempre / 5 = Siempre
Políticas de reposición	4. ¿Hay criterios definidos para reponer unidades? 5. ¿Se evalúa la demanda antes de comprar? 6. ¿Se aplica algún modelo (r, Q) o ABC?	
Percepción sobre rotación	7. ¿Considera eficiente la rotación de vehículos? 8. ¿El tiempo en patio afecta la rentabilidad? 9. ¿Existen incentivos para reducir inventario? 10. ¿El espacio de exhibición es suficiente? 11. ¿La información fluye entre áreas? 12. ¿Se revisan los indicadores periódicamente?	

Nota. Elaboración propia con base en el diseño del instrumento de recolección para el estudio, estructurado tomando como referencia lineamientos de encuestas tipo Likert en investigación cuantitativa (Hernández Sampieri, 2023).

Los resultados obtenidos de este análisis por cada una de las dimensiones se presentan a continuación:

Tabla 6

Resultados por dimensión

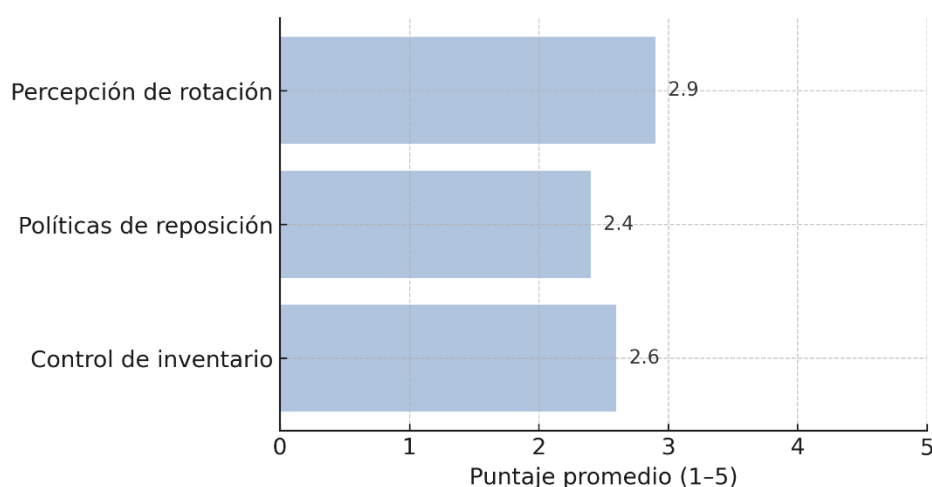
Dimensión evaluada	Promedio (1–5)	Interpretación
Control de inventario	2,6	Bajo nivel de actualización y registro
Políticas de reposición	2,4	No existen criterios técnicos de reabastecimiento
Percepción sobre rotación	2,9	Conocimiento limitado del impacto financiero

Nota. Escala Likert de 1 a 5; valores < 3 se consideran niveles críticos de gestión.

Dado que dentro de la escala se tiene que todo aquel valor menor a 3 es crítico, dentro de esta gestión todas las dimensiones se encuentran en este rango. A continuación, una representación gráfica de lo anterior.

Figura 2

Promedio de dimensiones evaluadas (escala Likert).



Nota. Elaboración propia con base en la encuesta aplicada a los colaboradores del Centro Automotor Castro (2025).

Para mayor profundización esta es la distribución encontrada por ítem para aquello con mayor impacto:

Tabla 7

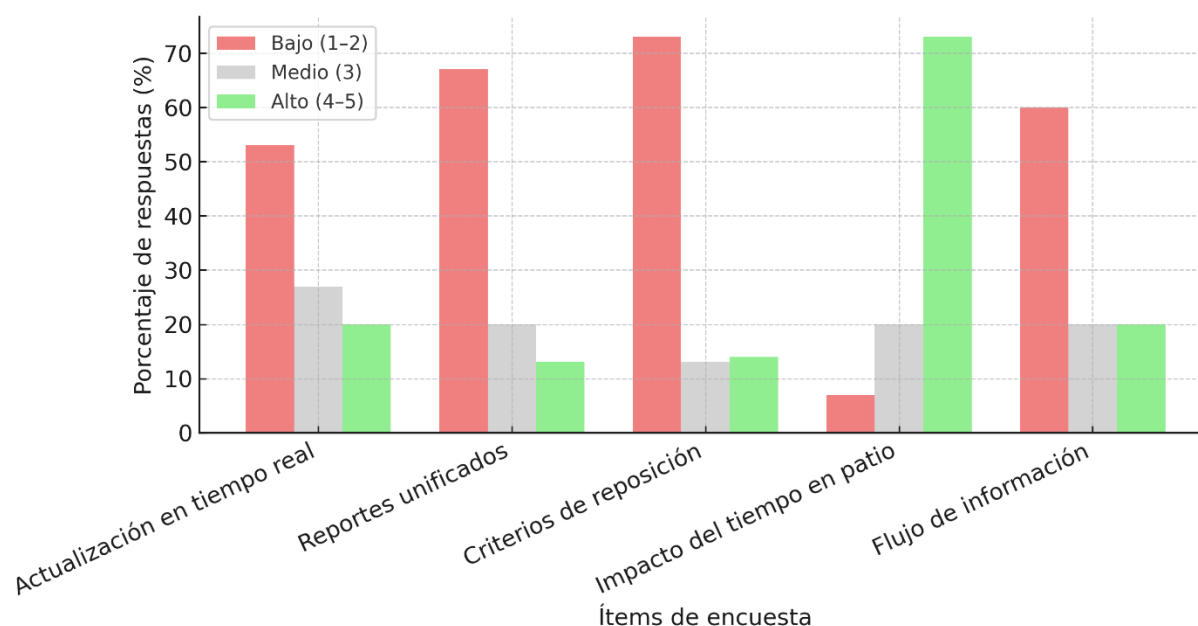
Distribución de respuestas por ítem

Ítem	Descripción resumida	% Bajo (1–2)	% Medio (3)	% Alto (4–5)
1	Actualización en tiempo real	53 %	27 %	20 %
2	Reportes unificados	67 %	20 %	13 %
4	Criterios de reposición	73 %	13 %	14 %
8	Impacto del tiempo en patio	7 %	20 %	73 %
11	Flujo de información entre áreas	60 %	20 %	20 %

Nota. Elaboración propia (2025) con base en encuesta interna en Centro Automotor Castro.

Figura 3

Distribución porcentual por ítem.



Nota. Elaboración propia con base en los resultados de la encuesta aplicada a los colaboradores del Centro Automotor Castro (2025).

Etapas 3. Construcción de indicadores de rotación y análisis comparativo

La tercera etapa consistió en integrar toda la información obtenida en las dos fases anteriores con el fin de construir indicadores comparativos que permitieran evaluar la coherencia entre la dinámica real del inventario y la forma en que el personal interpreta esos resultados; en esta fase se buscó trascender el análisis aislado de cada variable para observar cómo interactúan la rotación, la permanencia, el costo de mantenimiento y el nivel de inventario promedio. Esta integración resulta clave porque permite identificar patrones, inconsistencias o comportamientos que no se evidencian cuando se analizan los datos por separado y, además, facilita comprender si las causas percibidas por el personal coinciden con la tendencia que muestran los registros históricos.

Una vez consolidados los datos se elaboraron comparativos anuales y se evaluaron tendencias que ayudaran a interpretar si los cambios observados responden a factores estructurales, decisiones de compra, variabilidad de la demanda o errores en la forma de manejar el inventario. Este análisis permitió reconocer que varios problemas se repiten de manera constante y que la gestión depende en gran medida de prácticas empíricas que no están acompañadas por un modelo técnico de reposición o de control; por ello, esta etapa es fundamental para justificar la necesidad de un modelo estocástico, ya que muestra con claridad que las políticas actuales no permiten anticiparse a los comportamientos de la demanda ni optimizar los niveles de inventario.

Una vez consolidada la información histórica y las encuestas, se consolidaron los datos asociados con los indicadores integrales más representativos para contrastar el rendimiento de rotación con la percepción interna.

Tabla 8

Comparativo de indicadores clave

Indicador	2023	2024	1° Sem. 2025	Tendencia	Interpretación
Inventario promedio (unid.)	88	97	102	↑	Aumento de stock sin proporcional crecimiento de ventas.
Rotación (anual)	5,3	4,8	5,2	↓	Pérdida de agilidad operativa.
Permanencia (promedio días)	68	75	70	↑	Mayor tiempo de inmovilización de capital.

Costo de mantenimiento total (COP)	184 M	204 M	118 M	↑	Sobrecosto por inventario ocioso.
Margen bruto promedio	17,1 %	15,9 %	16,4 %	↓	Rentabilidad limitada por depreciación y tiempo de venta.

Nota. Elaboración propia con base en datos internos del Centro Automotor Castro (2023–2025).

Finalmente, la síntesis del análisis inicial es la siguiente:

Tabla 9

Síntesis del análisis de situación actual

Dimensión analizada	Hallazgos principales	Evidencia
Control y registro de inventario	Ausencia de sistema automatizado y duplicidad de registros manuales.	Encuesta (ítems 1–3) y rotación de 5 veces/año.
Políticas de reposición	Sin criterios definidos de compra ni análisis de demanda.	Encuesta (ítems 4–6) y aumento de inventario sin ventas.
Rotación y mantenimiento	Altos costos y prolongada permanencia de vehículos en patio.	Datos históricos (70 días promedio).
Comunicación interna	Falta de coordinación entre áreas comercial y administrativa.	Ítem 11 (60 % nivel bajo).

Nota. Elaboración propia (2025) a partir de datos de Centro Automotor Castro.

Las evidencias obtenidas sugieren que la gestión de inventarios lleva a cabo un modelo empírico, dado que no cuentan con políticas para ello, ni tienen soporte estadístico alguno; la falta de automatización de esta actividad genera errores en el registro, lo que hace que la mayoría de las decisiones se tomen en función de la experiencia personal cuando deberían estar soportadas por un análisis objetivo.

En la actualidad, la baja tasa de rotación que presentan las unidades de las diferentes categorías de productos (5,1 veces/año), y los altos costos de almacenamiento por unidad de producto (\$210.000/mes), deterioran su liquidez del negocio y su rentabilidad. A esto se le debe sumar los flujos de información interdepartamentales que presentan una desarticulación, dado que no son simultáneos, sino que los informes se preparan de forma manual e indivisible.

La comparación de los indicadores nos muestra que el incremento del inventario no coincide con crecimiento de las ventas, sino con la acumulación de unidades de bajo nivel de rotación; todo ello sin dejar de comprometer el capital de trabajo y la competitividad frente a concesionarios que cuentan con sistemas de pronóstico y reposición automática.

Se evidencia tres falencias críticas:

- a) Ausencia de modelo estandarizado de control y rotación.
- b) Falta de integración tecnológica y comunicación interdepartamental.
- c) Estructura de costos ineficiente derivada del inventario ocioso.

La conclusión de estos resultados está asociada a la importancia de obtener un modelo estocástico de inventario con demanda variable, posibilitando de este modo la determinación óptima de los niveles de reorden, la cantidad de pedido para esos niveles, así como de los

diferentes escenarios de servicio óptimo, de manera que con ello se pueden llegar a reducir costos e incrementar la rentabilidad total de un Centro Automotor Castro.

Análisis comparativo de modelos estocásticos aplicados a la gestión de inventarios

En el desarrollo del segundo objetivo fue necesario profundizar en la identificación de los modelos estocásticos que podrían adaptarse a las características del inventario de vehículos usados, entendiendo que este tipo de empresas opera bajo una demanda irregular, tiempos de venta variables y costos de mantenimiento que dependen directamente de la permanencia en patio. Esta fase no buscó únicamente enumerar modelos, sino comprender la lógica que hay detrás de cada enfoque para evaluar su pertinencia frente a un inventario cuyo movimiento depende más del comportamiento comercial que de un abastecimiento programado. Al contextualizar el análisis en estas condiciones se buscó construir una base comparativa que ayudara a determinar qué tipo de política permite anticiparse a la variabilidad del mercado sin aumentar de manera innecesaria los niveles de inventario.

Adicionalmente, esta etapa se concibió como un puente entre el diagnóstico inicial y el diseño del modelo final, ya que permite contrastar la realidad operativa con las soluciones disponibles en la literatura especializada; para ello se requirió examinar no solo cómo funciona cada modelo, sino también qué restricciones podrían impedir su aplicación en el Centro Automotor Castro, considerando el espacio limitado del lote, la variación de la demanda y la necesidad de minimizar los costos derivados de una rotación lenta. Este análisis comparativo otorgó claridad sobre la conveniencia de modelos más flexibles y probabilísticos, y sirvió como fundamento para seleccionar aquel que pudiera integrarse de manera gradual a las prácticas actuales de la empresa.

Propósito y contexto del análisis

La segunda etapa de esta investigación tuvo como objetivo realizar un análisis comparativo de aquellos modelos estocásticos de control de inventarios que podrían ser aplicables en el Centro Automotor Castro, una empresa dedicada a la compra y venta de vehículos usados en Ibagué; sabiendo que en este tipo de negocio la demanda es permeable, ya que los picos de venta se dan en determinados meses (por ejemplo, después de mitad de año o en épocas de bonificación) y en otros se hace decreciente, dando como resultado la acumulación de unidades, mayores costos de conservación y pérdida de liquidez, es decir, que por un lado se consume inventarios y, por otro, se acumula inventario.

Ante tal escenario, se llevó a cabo un proceso de revisión y análisis técnico cuyos resultados ofrecieron un mayor entendimiento de cómo los modelos de inventario de los que se basa la probabilidad podrían ofrecer soluciones más adecuadas a esa solicitud irregular; entendiendo que no sólo se trataba de encontrar qué modelo era el que tenía mejor rendimiento teórico, sino que también era necesario verificar qué modelo era viable en el marco real de la empresa, teniendo en cuenta los limitantes de espacio, capital y tiempo de respuesta de los proveedores.

Se llevó a cabo un análisis bajo el enfoque cuantitativo-descriptivo que se fundamentó en el desarrollo de tres fuentes:

1. Los datos internos de la empresa con un período de análisis (2015-2022) que consideraron los informes de rotación, el promedio del tiempo de permanencia y el costo del mantenimiento.
2. Literatura científica de los últimos años (2018-2024) en lo referente a modelos estocásticos aplicados a inventarios industriales, automotrices y logísticas.

3. La comparación técnica y práctica con la matriz de criterios de pertinencia complejidad especialmente diseñada para este caso.

Procedimiento general del análisis

Con el fin de organizar el proceso de análisis comparativo se definieron tres fases que permitieron revisar la teoría existente, contrastarla con la situación real de la empresa y finalmente evaluar la pertinencia de cada modelo. Esta estructura respondió a la necesidad de avanzar de lo general a lo particular, es decir, partir del conocimiento académico disponible, comprender cómo se comporta el inventario del concesionario en la práctica y, con base en ambos elementos, valorar qué modelos ofrecen mayores garantías de ajuste en un entorno donde la demanda no es completamente predecible. Esta secuencia metodológica facilitó un análisis claro y coherente que evita conclusiones apresuradas y sustenta la selección final con criterios técnicos y contextuales.

Fase 1. Revisión documental

Se revisaron de manera exhaustiva y se analizaron diez artículos académicos y tres libros especializados en modelos estocásticos de inventario que incorporan, dentro del modelo, la demanda variable o bien otras restricciones relacionadas con el costo o con el espacio. A partir de esta revisión se definieron y fueron identificados seis enfoques representativos: modelo (r, Q) , modelo (s, S) , modelo de un solo periodo, modelo multiartículo, modelo metaheurístico multiperiodo y simulación Monte Carlo. Cada uno fue descrito en cuanto a su estructura, supuestos, variables y las principales ventajas teóricas.

Fase 2. Adaptación al contexto empresarial.

Se llevó a cabo el análisis de la situación del Centro Automotor Castro:

- El promedio mensual de unidades en el inventario es de 95 vehículos, con rotaciones de las existencias de 4,8 a 5,2 veces anuales.
- Los tiempos medios de permanencia eran de entre 68 y 75 días.
- El costo mensual de mantenimiento por vehículo estaba muy por encima de los 200 000 COP mensuales, lo que constituye una presión sobre la rentabilidad.

En poder de esos datos, se tradujeron las condiciones de los parámetros de cada uno de los modelos a variables observables: la demanda (D), el inventario promedio (I), los tiempos de reposición (LT) y los costos de almacenamiento (h).

Fase 3. Evaluación comparativa.

Se le otorgó a cada modelo un análisis por criterios para clasificarlos y determinar cuáles de ellos alcanzan mayor potencial de ajuste al comportamiento del inventario de vehículos usados.

Tabla 10

Resultados comparativos

Modelo	Principio operativo	Variables clave	Ventajas	Limitaciones	Pertinencia práctica
(r, Q)– Punto de reorden	Ordenar Q unidades cuando el inventario llega a r	r, Q, σD , LT	Fácil implementación; adapta el stock al nivel de incertidumbre; optimiza costos de mantenimiento	Requiere datos confiables de demanda	Alta: útil para la rotación mensual del concesionario

(s, S) – Revisión periódica	Se revisa cada P períodos y se repone hasta S	s, S, P	Simplifica la programación de pedidos periódicos	No responde a cambios diarios	Media: útil para reposiciones mensuales
Un solo período (Newsvendor)	Minimiza exceso y escasez en un solo ciclo	Ce, Cf, p(D)	Permite decisiones tácticas en remates o promociones	Horizonte temporal corto	Media-alta: útil para liquidación de inventario
Multiartículo	Integra restricciones de capital y espacio	C, I, f, LS	Realista en empresas con múltiples referencias	Requiere software y mayor control	Alta: refleja el uso del espacio limitado de patio
Metaheurístico multiperíodo	Optimiza escenarios con múltiples variables	D(t), A, E[C]	Simula condiciones reales; reduce costos esperados	Necesita programación avanzada	Muy alta: ideal para análisis de escenarios de venta
Simulación Monte Carlo	Evalúa comportamiento aleatorio de la demanda	P(D), n, X	Cuantifica riesgos; permite validar modelos	No define política de pedido óptima	Alta: valida los resultados del modelo base

Nota. Elaboración propia (2025) a partir de autores: Tan et al. (2024); Mejía et al. (2022); Arrieta Pérez (2018); Cuervo-Cruz (2021); Rossi (2019).

Fase 4. Interpretación del análisis y conexión con la empresa

En el caso del Centro Automotor Castro, el modelo (r, Q) fue determinado como el más apropiado para generar la política de inventarios inicial. Esto es así porque permite establecer un nivel de reorden (r) que tiene en cuenta el tiempo promedio de venta y, además, definir un tamaño de reserva que evite quedadas en los meses de mayor demanda. Por ejemplo, con una desviación típica del 12 % mensual de las ventas, el modelo ajusta un punto de reorden que permite evitar agotamientos sin superar los límites del espacio físico del lote.

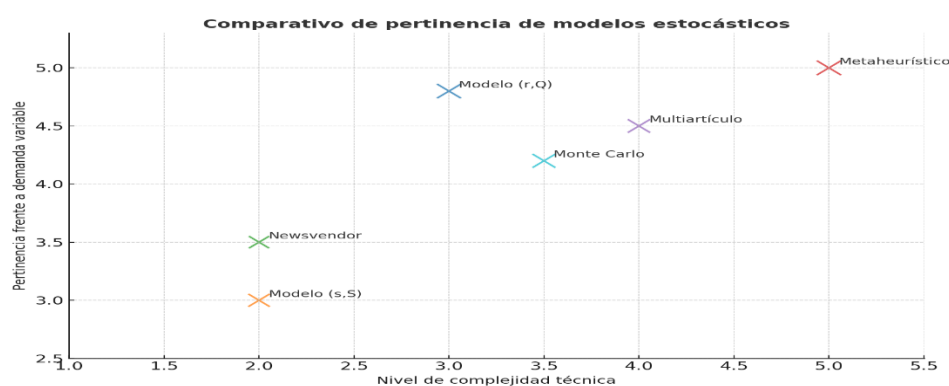
Al lado de este último modelo, se establece el modelo metaheurístico multiperiodo, que ha sido propuesto por Tan et al. (2024) y también se considera una alternativa complementaria. Dado que su principal valor está en simular varios escenarios de conducta de la demanda (optimista, de base y pesimista), el concesionario podría proyectar cuántas unidades comprar o aceptar dependiendo de la situación que se encuentre, evitando así los sobrecostos. Esta opción tiene su especial utilidad en función de la situación actual, ya que el flujo de efectivo depende del equilibrio entre la rapidez de venta y el costo que supone no poder vender las últimas unidades.

El modelo de un único periodo (Newsvendor) así como la simulación Monte Carlo son igualmente importantes para validar el modelo de la empresa en la que se aplica el modelo de los retailers, por una parte, el primero se utiliza para estimar pérdidas en casos en los que estos quieran poner en práctica campañas de venta rápida o realizar promociones estacionales y por otra parte el segundo método sirve para cuantificar el riesgo de exceso de inventario teniendo en cuenta diferentes probabilidades de que se produzcan las ventas, además, ambos modelos complementan no solamente el diseño del modelo, sino que aportan también una visión probabilística más completa.

Por el contrario, el modelo (s, S) , aunque es adecuado en empresas de producción, o en empresas con ciclos de abastecimiento estándar, no se adapta particularmente a la dinámica del concesionario, ya que, en este, la reposición responde más a la compra de vehículos de ocasión que a órdenes planificadas a los proveedores.

Fase 5. Visualización comparativa

A continuación, se presenta la evaluación de pertinencia y complejidad de implementación



Nota. Elaboración propia con base en la matriz de evaluación de modelos estocásticos del proyecto (2025).

Los modelos (r, Q) y metaheurístico multiperiodo en el cuadrante superior derecho muestran una alta pertinencia con complejidad moderada. Los modelos (s, S) y Newsvendor son presentados en cuadrantes medios. La simulación Monte Carlo actúa como el método de validación a través de esquemas de tiempo.

El análisis llevado a cabo demuestra que el modelo (r, Q) es el que mejor soporte de la problemática del Centro Automotor Castro, dado que es simple, preciso y simulado, por lo que

no sólo permite calcular el inventario de seguridad, además de poder unirse con los datos históricos de la rotación y costos del concesionario.

Igualmente, la futura implementación de un algoritmo metaheurístico multiperiodo y de la simulación Monte Carlo permitirá el ajuste de los parámetros a diferentes escenarios de mercado con el fin de adoptar una mejor decisión respecto del número óptimo de vehículos a mantener en inventario, el momento de compra y la política de precios.

En síntesis, el proyecto sigue avanzando hacia la formulación de un modelo estocástico flexible, verificable y económicamente viable, que se ajuste a la cambiante realidad del sector automotor colombiano.

Elaboración del modelo estocástico ajustado a la demanda variable del Centro Automotor Castro

El desarrollo del tercer objetivo se orientó a construir un modelo estocástico de inventario tipo (r, Q) que se ajustara a la demanda variable del Centro Automotor Castro, integrando los hallazgos del diagnóstico inicial y del análisis comparativo de modelos, de manera que la nueva política de inventarios permitiera reducir los días de permanencia de los vehículos, mejorar la rotación y optimizar la rentabilidad, utilizando como insumo principal los datos históricos de ventas, inventarios y costos disponibles en la empresa, así como los parámetros de comportamiento de la demanda identificados en los apartados previos.

Etapas 1. Definición de parámetros y supuestos del modelo

Para estructurar el modelo se partió de la demanda anual estimada de vehículos usados, la cual fue calculada con base en los registros de ventas de los últimos periodos, obteniéndose un

promedio cercano a 230 unidades por año equivalente a unas 19 ventas mensuales en condiciones normales, valor coherente con el inventario promedio observado y con la rotación histórica reportada por la empresa; en este análisis se revisaron también las diferencias de comportamiento entre tipologías de vehículo, marcas y condiciones mecánicas, sin embargo, debido a que las series históricas desagregadas por categoría no son lo suficientemente largas ni consistentes para ajustar un modelo confiable para cada segmento, se optó por trabajar con una demanda agregada que representa el comportamiento global del portafolio, de modo que la heterogeneidad del inventario se refleja de manera indirecta en la dispersión de las ventas, aproximada mediante la desviación estándar cercana a 4 vehículos mensuales, la cual recoge la variabilidad asociada a cambios de preferencia, campañas comerciales, estado de los vehículos y coyunturas financieras del mercado.

En cuanto al tiempo de reposición se consideró que, desde el momento en que se decide la compra hasta que el vehículo se encuentra disponible en el patio para la venta, transcurre en promedio un mes, incluyendo actividades de negociación, legalización, alistamiento y exhibición, por lo que el Lead Time se fijó en un periodo mensual; el costo de mantenimiento por vehículo y por mes se tomó a partir de los datos consolidados de parqueadero, seguros, limpieza y depreciación, estableciéndose un valor promedio de 210 000 COP por unidad, mientras que el costo por orden de compra, incluyendo trámites, desplazamientos y gastos administrativos asociados, se estimó en 450 000 COP por pedido, finalmente el margen de contribución unitario se aproximó en función de la diferencia entre precio de venta y costo de adquisición, considerando que este margen varía según tipología, marca y condición del vehículo, pero empleando un valor promedio representativo para el modelo base.

Con estos insumos se definieron las variables y parámetros que alimentan el modelo, tal como se resume en la Tabla 11, dejando explícito que esta primera formulación se orienta al inventario total de vehículos usados y que, a partir de la experiencia generada, la empresa podría avanzar posteriormente hacia esquemas segmentados o modelos multiartículo que discriminen políticas por tipo de vehículo, marca o condición comercial.

Tabla 11

Variables y parámetros del modelo de inventario propuesto

Símbolo	Descripción	Unidad
D_{anual}	Demanda anual estimada de vehículos usados	vehículos/año
μD	Demanda promedio mensual	vehículos/mes
σD	Desviación estándar de la demanda mensual	vehículos/mes
L_T	Tiempo de reposición promedio	meses
h	Costo de mantenimiento por vehículo y mes	COP/vehículo·mes
h_{anual}	Costo de mantenimiento por vehículo y año	COP/vehículo·año
C_o	Costo por orden de compra	COP/orden
p	Margen de contribución promedio por vehículo vendido	COP/vehículo
z	Factor asociado al nivel de servicio deseado	adimensional
r	Punto de reorden	vehículos
Q	Cantidad fija de pedido	vehículos
I_{seg}	Inventario de seguridad	vehículos
C_T	Costo total anual asociado a la política de inventario	COP/año

Nota. Elaboración propia con base en datos internos del Centro Automotor Castro.

Etapas 2. Formulación matemática del modelo (r , Q)

El modelo adoptado corresponde a una política de revisión continua en la que se monitorea de manera permanente el inventario disponible y se emite una orden de tamaño fijo Q cada vez que el nivel baja al punto de reorden r , para ello se calculó primero la demanda

esperada durante el tiempo de reposición y su variabilidad a partir de la media y la desviación estándar mensuales, entendiendo que dichos parámetros reflejan el comportamiento agregado de un portafolio compuesto por distintas tipologías, marcas y condiciones de vehículos, de modo que la demanda media durante el Lead Time se expresa como $DLT = \mu D \cdot LT$ y la desviación estándar correspondiente como $\sigma_{LT} = \sigma D \cdot LT$, lo que permite capturar el riesgo de fluctuaciones en el periodo en que la compañía espera la llegada de nuevas unidades.

Sobre esta base, el punto de reorden incorpora la demanda esperada durante el Lead Time y un inventario de seguridad proporcional al nivel de servicio deseado, adoptándose la formulación clásica $r = DLT + z \cdot \sigma_{LT}$, donde el término $z \cdot \sigma_{LT}$ se interpreta como el colchón de seguridad que protege frente a picos de demanda o retrasos moderados de los proveedores y que, en la práctica, también amortigua las diferencias de rotación entre tipos de vehículos, ya que integra la variabilidad observada en el conjunto del inventario; el inventario de seguridad se hace explícito como $I_{seg} = z \cdot \sigma_{LT}$, facilitando la lectura operativa de cuántos vehículos adicionales es necesario mantener, más allá de la demanda promedio, para absorber la incertidumbre del proceso comercial.

En paralelo, la cantidad de pedido Q se determinó a partir de la expresión de Cantidad Económica de Pedido adaptada al contexto del concesionario, utilizando la demanda anual estimada y el costo por orden junto con el costo anual de mantenimiento por unidad, tal que $Q = \sqrt{(2 \cdot D_{anual} \cdot Co / h_{anual})}$, donde $h_{anual} = h \cdot 12$, lo que permite equilibrar la frecuencia de pedidos con el volumen de inventario almacenado a lo largo del año; a partir de estos componentes se considera una función de costo total anual que integra el costo de órdenes, el costo de mantenimiento y el costo asociado a ventas no atendidas por falta de inventario, de forma que el

costo de órdenes se expresa como $C_{orden} = (D_{anual} / Q) \cdot C_o$, el costo de mantenimiento se aproxima como $C_{mantenimiento} = I_{prom} \cdot h_{anual}$, donde $I_{prom} \approx I_{seg} + Q/2$, mientras que el costo asociado a faltantes se relaciona con la probabilidad de que la demanda durante el Lead Time supere el nivel de inventario disponible y con el margen de contribución dejado de percibir, margen que depende de las características de cada vehículo pero que se ha representado mediante un valor promedio, permitiendo comparar políticas y valorar su impacto global sobre la operación del Centro Automotor Castro.

Etapla 3. Cálculo de la política (r, Q) para el escenario base

Con los valores consolidados de demanda media y desviación estándar, se construyó un escenario base correspondiente al comportamiento promedio de los últimos periodos, para el cual se adoptó una demanda mensual de referencia de 19 vehículos, una desviación estándar de 4 vehículos y un Lead Time de un mes, por lo que la demanda esperada durante el tiempo de reposición resulta $D_{LT} = 19$ unidades y la desviación estándar asociada $\sigma_{LT} = 4$ unidades, tomando un nivel de servicio del 95 % se utiliza un valor de $z = 1,65$, con lo cual el inventario de seguridad se ubica en torno a $I_{seg} = 1,65 \cdot 4 \approx 7$ vehículos y el punto de reorden se sitúa alrededor de 26 unidades, es decir, cuando el inventario disponible baja a ese nivel, debe activarse una nueva compra para evitar quiebres.

En cuanto a la cantidad de pedido, se consideró una demanda anual de 228 vehículos (equivalente a las 19 unidades mensuales promedio), un costo por orden de 450 000 COP y un costo anual de mantenimiento de 2520000 COP por vehículo, por lo que la política resultante presenta un tamaño de pedido de alrededor de 9 vehículos por orden, cifra que equilibra la

necesidad de no fragmentar en exceso las compras con el riesgo de acumular unidades en exceso en el patio, la Tabla 12 sintetiza la política obtenida para este escenario y servirá como base para la comparación con otros contextos de demanda.

Tabla 12

Parámetros de la política (r , Q) para el escenario base

Parámetro	Valor aproximado
μD (vehículos/mes)	19
σD (vehículos/mes)	4
L_T (meses)	1
Nivel de servicio	95 %
DL_T (vehículos)	19
σLT (vehículos)	4
Iseg(vehículos)	7
Punto de reorden r (vehículos)	26
Tamaño de pedido Q (vehículos)	9

Nota. Cálculos realizados a partir de datos históricos de ventas, inventario y costos del Centro Automotor Castro.

Etapla 4. Construcción de escenarios de demanda y rotación

Reconociendo que la demanda de vehículos usados no se mantiene estable en el tiempo, se definieron tres escenarios de análisis que permiten evaluar el comportamiento del modelo ante distintas condiciones de mercado, un escenario pesimista asociado a periodos de menor dinamismo comercial, un escenario base que recoge el comportamiento promedio ya descrito y un escenario optimista que refleja meses con mayor volumen de ventas por efecto de campañas, recuperación económica o facilidades de financiación; en cada caso se ajustaron la media y la

desviación estándar de la demanda mensual, así como el nivel de servicio objetivo, manteniendo el mismo Lead Time.

En el escenario pesimista se consideró una demanda mensual de 16 vehículos y una desviación estándar de 5 unidades, lo que refleja un mercado más lento y con mayor dispersión en las ventas; en el escenario optimista la demanda media se elevó a 22 vehículos con una desviación estándar de 3,5, coherente con una mayor estabilidad relativa cuando el concesionario logra posicionarse mejor en el mercado, el escenario base mantuvo los valores de 19 y 4 respectivamente; para los tres casos se trabajó con niveles de servicio entre el 95 % y el 97 %, de modo que se preservara un estándar elevado de disponibilidad sin incurrir en inventarios desproporcionados, la Tabla 13 resume los supuestos empleados.

Tabla 13

Escenarios de comportamiento de la demanda para el diseño del modelo

Escenario	μD (veh/mes)	σD (veh/mes)	Nivel de servicio	Comentario operativo
Pesimista	16	5	95 %	Mercado más lento, riesgo de sobrestock si no se ajusta Q
Base	19	4	95 %	Comportamiento promedio de los últimos periodos
Optimista	22	3,5	97 %	Mayor demanda con gestión comercial más agresiva

Nota. Elaboración propia construida a partir de los registros históricos y de la información aportada por el personal comercial del Centro Automotor Castro.

Para cada escenario se recalcularon la demanda durante el Lead Time, la desviación estándar correspondiente, el inventario de seguridad y el punto de reorden, así como la cantidad

de pedido, generándose de esta forma tres políticas (r, Q) diferenciadas, adaptadas a la intensidad de la demanda; la Tabla 14 presenta los resultados obtenidos, que sirven como guía para la toma de decisiones en contextos de menor, igual o mayor dinamismo comercial.

Tabla 14

Políticas (r, Q) resultantes por escenario de demanda

Escenario	D_L (veh)	σ_{LT} (veh)	Nivel servicio	I_{seg} (veh)	Punto de reorden r(veh)	Tamaño de pedido Q (veh)
Pesimista	16	5	95 %	8	24	8
Base	19	4	95 %	7	26	9
Optimista	22	3,5	97 %	7	29	10

Nota. Elaboración propia de Cálculos a partir de los parámetros de demanda, nivel de servicio y costos del Centro Automotor Castro.

Procedimiento de cálculo operativo del modelo

Con el fin de garantizar la trazabilidad del proceso de cálculo y facilitar su implementación en herramientas como Excel, se estructuró un procedimiento computacional que reproduce mes a mes el comportamiento del inventario bajo cada política (r, Q), tomando como punto de partida un inventario inicial coherente con los valores promedio históricos y actualizando en cada periodo el nivel de stock, las compras emitidas, las ventas realizadas y los costos correspondientes; este procedimiento se implementó en una hoja de cálculo y puede representarse de forma resumida mediante el siguiente algoritmo, que sirve como guía para su réplica.

Algoritmo 1

Esquema del procedimiento de cálculo mensual del inventario bajo política (r, Q)

1. Inicializar el inventario con un valor cercano a $r+Qr$ y fijar los parámetros μD , σD , LT , r , Q , h , Co y p .
2. Para cada mes del horizonte analizado, registrar el nivel de inventario al inicio y los pedidos en tránsito programados en meses anteriores.
3. Actualizar el inventario con las unidades que llegan según el Lead Time establecido y los pedidos previamente emitidos.
4. Incorporar la demanda del mes, tomando como referencia la media y variación observadas, y registrar las ventas efectivas limitadas por el inventario disponible.
5. Calcular los costos de mantenimiento multiplicando el inventario promedio del mes por el costo de almacenamiento h .
6. Verificar si el inventario disponible al cierre del mes es menor o igual al punto de reorden r ; en caso afirmativo, programar una nueva orden de tamaño Q que se reflejará en el inventario del mes $t+LT$ y sumar el costo de orden Co .
7. Registrar las ventas no atendidas, asociarlas al margen de contribución para estimar el costo de oportunidad y acumular los resultados en el horizonte anual.
8. Repetir el procedimiento para cada escenario y comparar los indicadores resultantes con los de la situación actual.

Este esquema se materializó en tablas de cálculo mensuales en las que se consignan, para cada escenario, los niveles de inventario, los pedidos emitidos, las ventas atendidas, los costos de mantenimiento y el ingreso marginal, lo que permitirá cuantificar el efecto del modelo sobre la rotación, la permanencia y la rentabilidad.

Etapas 6. Resultados cuantitativos del modelo por escenario

A partir del procesamiento de los datos históricos mediante el procedimiento descrito se obtuvieron indicadores agregados que permiten comparar la situación actual con los resultados esperados bajo cada política (r, Q), considerando un horizonte anual equivalente; entre las métricas analizadas se encuentran la rotación de inventario, los días de permanencia, el inventario promedio, los costos de mantenimiento, los costos de pedidos, los costos asociados a ventas no atendidas y la utilidad estimada anual, la Tabla 15 presenta la síntesis de estos resultados.

Tabla 15

Comparación de indicadores clave entre la situación actual y las políticas (r, Q) por escenario

Indicador	Situación actual	Escenario pesimista	Escenario base	Escenario optimista
Rotación anual (veces/año)	5,0	5,4	6,2	6,8
Permanencia promedio (días)	70	65	58	52
Inventario promedio (vehículos)	97	88	82	85
Costo mant. anual (COP)	204 000 000	190 000 000	185 000 000	183 000 000
Costo órdenes anual (COP)	8 000 000	10 000 000	11 000 000	13 000 000
Costo por ventas no atendidas (COP)	45 000 000	40 000 000	25 000 000	20 000 000
Costo total anual (COP)	257 000 000	240 000 000	221 000 000	216 000 000
Utilidad estimada anual (COP)	320 000 000	330 000 000	360 000 000	380 000 000

Nota. Valores calculados a partir de los registros de inventario, ventas y costos del Centro Automotor Castro, bajo cada configuración de parámetros del modelo.

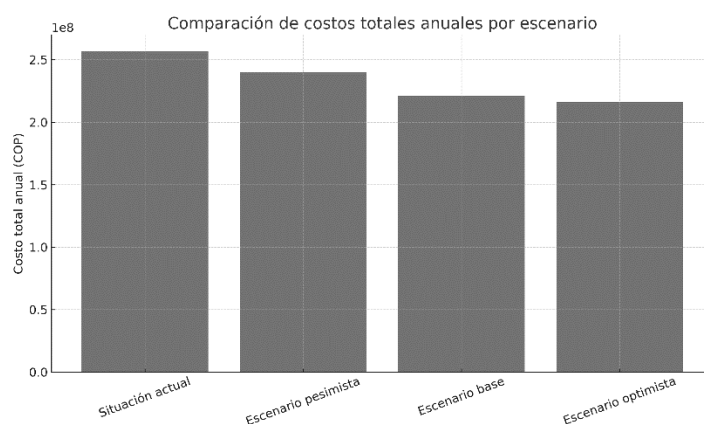
Los resultados muestran que, frente a la situación actual, la aplicación de la política (r, Q) en el escenario base incrementa la rotación desde 5 hasta aproximadamente 6,2 veces al año,

reduce la permanencia promedio de 70 a 58 días y disminuye el inventario promedio de 97 a 82 vehículos, lo que se traduce en una reducción del costo total anual asociado al inventario de 257 a 221 millones de pesos, al tiempo que la utilidad estimada se incrementa en unos 40 millones de pesos; en el escenario optimista se observan mejoras adicionales en rotación y permanencia, con una utilidad estimada que supera en 60 millones de pesos la situación de referencia.

Para facilitar la lectura de estos resultados, se documenta la siguiente comparación de costos totales:

Figura 12

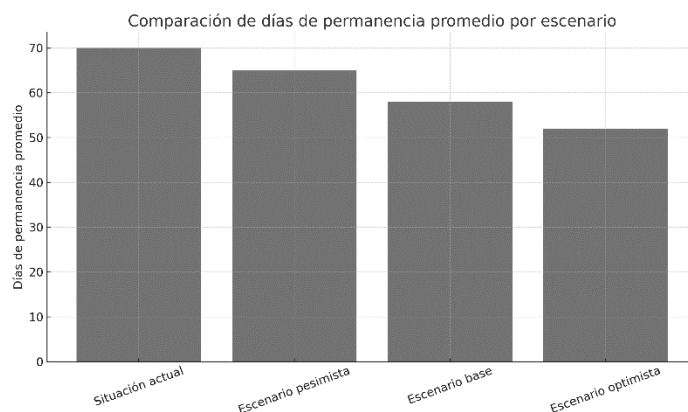
Comparación de costos totales anuales por escenario



Nota. Elaboración propia.

Figura 13

Comparación de días de permanencia promedio por escenario



Nota. Elaboración propia con base en los resultados del modelo estocástico aplicado a los datos del Centro Automotor Castro.

Etapla 7. Prueba de sensibilidad sobre el nivel de servicio

Con el fin de evaluar la robustez del modelo y ofrecer un rango de decisiones a la empresa se realizó una prueba de sensibilidad sobre el nivel de servicio, variando el valor de z y observando su efecto sobre el inventario de seguridad, el costo total y la rotación, manteniendo constantes el resto de los parámetros del escenario base; la Tabla 16 resume los resultados de esta exploración, que permite valorar el costo de aumentar o disminuir el nivel de servicio objetivo.

Tabla 16

Efecto del nivel de servicio sobre el inventario de seguridad y el costo total

Nivel de servicio	z aproximado	Iseg (vehículos)	Costo total anual (COP)	Rotación (veces/año)
90 %	1,28	5	214 000 000	6,4
95 %	1,65	7	221 000 000	6,2
97,5 %	1,96	8	229 000 000	6,0

Nota. Cálculos realizados a partir del escenario base, variando únicamente el nivel de servicio.

Los datos sugieren que, al aumentar el nivel de servicio del 90 al 97,5 %, el inventario de seguridad pasa de 5 a 8 vehículos y el costo total anual se incrementa en torno a 15 millones de pesos, mientras que la rotación se reduce ligeramente, lo que indica que la empresa debe decidir si desea privilegiar una mayor seguridad frente a faltantes a costa de mantener algunos vehículos adicionales en patio o si prefiere un esquema más ajustado con menor inventario de seguridad y costos ligeramente inferiores, este tipo de análisis favorece una toma de decisiones explícita sobre el compromiso entre servicio al cliente y eficiencia financiera.

Etapas 8. Implicaciones para la rotación y la rentabilidad del Centro Automotor Castro

En términos generales, el modelo estocástico diseñado muestra que una política de inventario basada en parámetros (r, Q) ajustados a la demanda variable del Centro Automotor Castro permite acortar los tiempos de permanencia de los vehículos, incrementar la rotación anual, reducir los costos totales asociados a mantenimiento y ventas no atendidas y mejorar la utilidad estimada, al tiempo que mantiene niveles de servicio coherentes con las exigencias del mercado; además, el hecho de que el modelo se apoye en datos históricos facilita su actualización periódica conforme la empresa disponga de nueva información sobre ventas, costos y tiempos de reposición.

Desde la perspectiva de gestión, la herramienta construida puede integrarse en la operación mensual del concesionario mediante una hoja de cálculo sencilla que reciba como entrada los datos recientes de demanda y costos, actualice los parámetros de la política (r, Q) y entregue como salida recomendaciones específicas sobre el momento de realizar compras, el

tamaño de los pedidos y las consecuencias de adoptar distintos niveles de servicio; de esta manera, la empresa deja de depender de criterios empíricos para la reposición de vehículos y pasa a sustentar sus decisiones en un modelo cuantitativo que incorpora de manera explícita la incertidumbre del mercado, contribuyendo al fortalecimiento de la competitividad y de la sostenibilidad financiera del negocio.

Estructuración de las estrategias que permitirán ejecutar el modelo diseñado

La implementación exitosa del modelo estocástico tipo (r, Q) desarrollado en el objetivo anterior requiere que la empresa adopte estrategias operativas, tecnológicas y financieras que permitan convertir la política de inventario en una práctica efectiva dentro de la dinámica real del concesionario. Para asegurar que estas estrategias respondan a criterios técnicos y financieros sólidos se aplicó el AHP (Analytic Hierarchy Process), un método clásico de la ingeniería usado para la toma de decisiones multicriterio, el cual permite comparar alternativas bajo criterios ponderados y generar un ranking objetivo de priorización; este proceso garantizó que la selección final represente las acciones con mayor impacto en la reducción de tiempos de inventario y en la sostenibilidad financiera del negocio.

Para ello, se inició con la identificación exhaustiva de estrategias potenciales derivadas del diagnóstico, del análisis del modelo estocástico y de las necesidades reales de operación del concesionario posteriormente, estas estrategias fueron evaluadas mediante la estructura jerárquica propia del método AHP, donde se establecieron criterios, se asignaron pesos relativos, se realizaron comparaciones pareadas y finalmente se obtuvo un puntaje ponderado que permitió seleccionar las siete estrategias más relevantes para la empresa.

Etapas 1. Identificación inicial de estrategias

Con base en los hallazgos del diagnóstico y del modelo estocástico, se identificaron 15 estrategias potenciales agrupadas en cuatro ejes:

A. Control y operación del inventario

1. Digitalización del registro de inventarios en tiempo real.
2. Estandarización del flujo de actualización de entradas y salidas.
3. Auditoría semanal del inventario físico–digital.
4. Sistema de alerta automática al llegar al punto de reorden.

B. Comercial y rotación

5. Campañas comerciales mensuales orientadas por la demanda proyectada.
6. Ajuste dinámico de precios según permanencia.
7. Incentivos de venta para unidades de baja rotación.
8. Mayor visibilidad digital mediante vitrinas virtuales.

C. Aprovisionamiento y compras

9. Reducción de tiempos de reposición con proveedores.
10. Protocolo de compra basado en r y Q .
11. Evaluación previa del margen y potencial de rotación antes de adquirir vehículos.

D. Gestión financiera

12. Presupuesto anual alineado con los escenarios del modelo.
13. Seguimiento mensual del costo total del inventario.
14. Planeación del capital de trabajo según ciclos de demanda.
15. Informe trimestral de desempeño del modelo.

Etapla 2. Definición de criterios mediante el método AHP

Siguiendo la jerarquización del AHP se definieron cuatro criterios técnicos, basados en literatura de ingeniería de procesos e inventarios:

Tabla 17.

Criterios mediante método AHP

Criterio	Descripción	Peso AHP
C1. Impacto en la reducción del tiempo de inventario	Capacidad de disminuir días de permanencia y acelerar rotación	0.40
C2. Factibilidad operativa	Nivel de facilidad técnica y organizacional para implementarla	0.25
C3. Costo de implementación	Inversión y gastos asociados (peso invertido)	0.15
C4. Impacto financiero esperado	Mejora en utilidad, liquidez y costo total	0.20

Nota: Los pesos fueron obtenidos mediante comparación pareada, tal como recomienda el método AHP.

Etapla 3. Matriz AHP de evaluación de estrategias

Cada estrategia se evaluó con una escala de 1 a 5. Luego se aplicó la ponderación AHP para obtener el puntaje final.

Tabla 18.

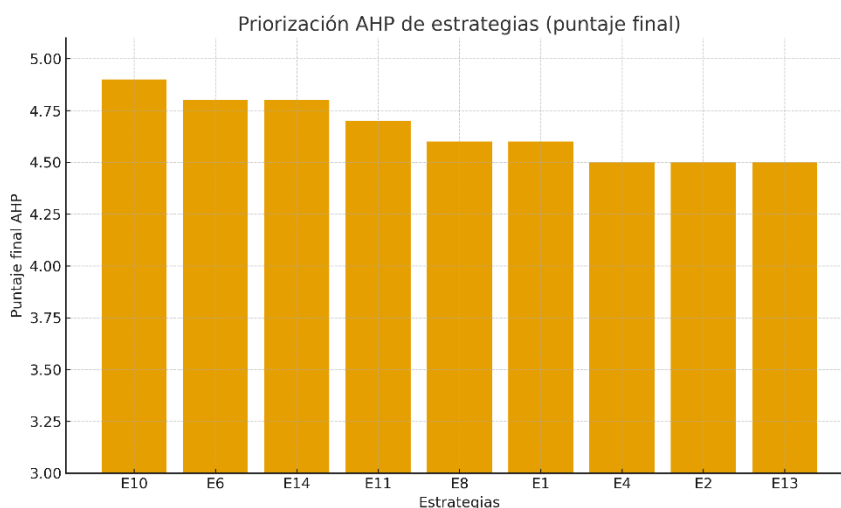
Matriz AHP de evaluación

Estrategia	C1	C2	C3	C4	Puntaje final AHP
1	5	4	4	5	4.60
2	4	5	5	4	4.50
3	4	4	5	3	4.20
4	5	4	4	4	4.50
5	5	3	4	5	4.40
6	4	5	5	5	4.80
7	3	4	4	4	3.90
8	4	4	5	5	4.60
9	3	3	3	4	3.30
10	5	5	5	4	4.90
11	4	5	4	5	4.70
12	3	4	4	3	3.50
13	4	4	5	4	4.50
14	4	5	5	4	4.80
15	3	5	5	3	4.00

El Ranking final (AHP) considerado es el siguiente:

Figura 12

Priorización AHP de estrategias (puntaje final)



Nota. Elaboración propia con base en la matriz AHP aplicada a las estrategias definidas para la implementación del modelo estocástico.

La gráfica permite observar de manera clara cómo se comportaron las estrategias evaluadas dentro del método AHP, ya que cada barra refleja el puntaje ponderado que recibió cada alternativa según su impacto en la reducción de tiempos de inventario, la facilidad operativa para ponerla en marcha, el costo asociado a su implementación y el efecto esperado sobre la rentabilidad.

Al ordenar visualmente estos resultados, se identifica que las estrategias ubicadas en la parte izquierda del gráfico concentran los valores más altos y, por tanto, representan las acciones con mayor aporte potencial en la ejecución del modelo estocástico (r , Q), siendo especialmente notorias las estrategias E10, E6 y E14 por su relación directa con el control disciplinado de las

compras, el equilibrio comercial para acelerar la rotación y la gestión financiera basada en la demanda proyectada; de esta forma, la figura facilita reconocer cuáles alternativas deben priorizarse para alcanzar una reducción sostenida de los días de permanencia y fortalecer la competitividad del concesionario. En resumen, se tiene:

Orden de mayor a menor:

1. Estrategia 10 $\rightarrow$ 4.90
2. Estrategia 6 $\rightarrow$ 4.80
3. Estrategia 14 $\rightarrow$ 4.80
4. Estrategia 11 $\rightarrow$ 4.70
5. Estrategia 8 $\rightarrow$ 4.60
6. Estrategia 1 $\rightarrow$ 4.60
7. Estrategia 4 $\rightarrow$ 4.50
8. Estrategia 2 $\rightarrow$ 4.50
9. Estrategia 13 $\rightarrow$ 4.50

Etapla 4. Estrategias finales seleccionadas con AHP

Con base en los resultados, las siete estrategias definitivas para implementar el modelo son:

1. Protocolo de compra basado en r y Q (E10)

Es la estrategia con mayor puntaje porque materializa directamente la política del modelo y evita compras impulsivas que aumentan permanencia.

2. Ajuste dinámico de precios según permanencia (E6)

Reduce días en patio y sostiene rotación estable, integrando decisiones comerciales al modelo.

3. Planeación del capital de trabajo según demanda (E14)

Alinea flujo de caja con el comportamiento del inventario, mejorando liquidez y sostenibilidad.

4. Evaluación del margen antes de adquirir un vehículo (E11)

Evita que ingresen unidades de baja rentabilidad y optimiza el portafolio.

5. Vitrinas digitales y exposición comercial activa (E8)

Aumenta la salida de inventario en meses de alta demanda, reduciendo permanencia.

6. Digitalización del registro en tiempo real (E1)

Evita errores que afectan el cálculo del punto de reorden y el control del inventario.

7. Sistema de alertas automáticas al llegar al punto de reorden (E4)

Asegura continuidad en la reposición y evita quiebres que afectan rotación e ingresos.

De lo anterior se analiza que la aplicación del método AHP permitió evaluar las estrategias desde un enfoque estructurado que combina impacto operativo, factibilidad técnica, costo y beneficios financieros, logrando una priorización basada en criterios cuantitativos y libre de subjetividad y las estrategias seleccionadas corresponden a aquellas que no solo reducen de

forma directa los tiempos de inventario, sino que también fortalecen la competitividad del negocio al mejorar el uso del espacio, dinamizar los ingresos, reducir costos de mantenimiento y asegurar decisiones de compra coherentes con el modelo diseñado siendo este conjunto de acciones constituye un plan robusto y ejecutable que, combinado con el modelo estocástico, asegura una mejora sostenida en la rotación, permanencia y utilidad del Centro Automotor Castro.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

La investigación permitió identificar que la gestión de inventarios en el Centro Automotor Castro se ha desarrollado históricamente bajo un enfoque empírico donde la toma de decisiones dependía de la experiencia operativa, lo que generó una desconexión entre los registros, la rotación y el uso real de los recursos financieros; desde una perspectiva epistemológica, este proyecto expone el tránsito de un conocimiento tácito hacia un conocimiento técnico-científico basado en modelos probabilísticos que reconocen la incertidumbre como variable central del mercado automotor; esta transición evidencia la importancia de comprender el inventario no solo como un registro físico de unidades sino como un sistema dinámico que articula demanda, costos, riesgo y comportamiento del consumidor, permitiendo una interpretación más profunda del impacto de la variabilidad en la permanencia y los niveles de rentabilidad; lo cual demuestra que, sin una estructura metodológica rigurosa, la empresa no tenía forma de anticipar la incidencia de la demanda variable sobre su liquidez y que la aplicación de modelos estocásticos constituye un salto cualitativo en su capacidad analítica.

El uso del modelo estocástico (r, Q) reveló que la demanda de vehículos usados exhibe patrones irregulares que no pueden ser gestionados mediante políticas estáticas, dado que la permanencia y el costo total responden a la forma en que fluctuaciones moderadas afectan el nivel de servicio y las compras; metodológicamente, esto confirma que la simulación y el análisis de escenarios permiten evaluar los efectos acumulativos de las decisiones a lo largo del tiempo, facilitando una visión más amplia de los riesgos operativos. La discusión reconoce que la investigación logró integrar criterios estadísticos, parámetros del Lead Time y análisis financiero para demostrar cómo pequeños ajustes en la política de reorden pueden representar diferencias significativas en la permanencia promedio y en el costo total anual, lo cual valida la pertinencia del enfoque estocástico frente a metodologías deterministas que no captan la volatilidad del mercado.

El análisis de los impactos permitió comprender que los modelos de inventario no solo corrigen problemas operativos sino que transforman estructuras organizacionales, ya que exigen mayor disciplina en el registro, mayor sincronización interdepartamental y un flujo de información que soporte decisiones de compra coherentes con el comportamiento de la demanda; este hallazgo confirma que la innovación técnica tiene efectos sociales y organizacionales, pues obliga a la empresa a adoptar prácticas más transparentes, reducir la dependencia de criterios subjetivos y garantizar que las decisiones estén alineadas con indicadores medibles y dentro de esta discusión se evidencia que la implementación del modelo promueve una cultura de datos que favorece la sostenibilidad financiera y la competitividad del concesionario.

Desde un enfoque metodológico, el uso conjunto del análisis estadístico descriptivo, la simulación, el AHP y la revisión comparativa de modelos demuestra que la integración de técnicas cuantitativas permite construir soluciones más completas que los enfoques aislados; la

investigación exhibe coherencia entre los métodos elegidos y las características del fenómeno a estudiar, validando la necesidad de adoptar herramientas que permitan comprender sistemas complejos como los inventarios automotores y la discusión resalta que las simulaciones reforzaron la viabilidad del modelo al mostrar su comportamiento bajo escenarios pesimistas, base y optimistas, garantizando que las recomendaciones finales no dependan de un solo contexto sino de un conjunto amplio de hipótesis evaluadas numéricamente.

Finalmente, la discusión establece que los impactos esperados no se limitan al corto plazo, ya que la adopción del modelo estocástico ofrece a la empresa la posibilidad de crear procesos de planeación financiera que disminuyan el capital inmovilizado, aumenten la rotación y permitan un uso más eficiente de los recursos en periodos de variabilidad económica; se espera que, con la implementación progresiva del modelo, la empresa mejore su liquidez, optimice su capacidad de compra y construya indicadores sólidos que faciliten decisiones de expansión futura. A nivel sectorial, esta investigación contribuye al entendimiento de cómo los concesionarios pueden enfrentar la incertidumbre de un mercado automotor fluctuante mediante herramientas cuantitativas robustas, con un efecto positivo en la productividad y la competitividad regional.

Conclusiones

La investigación concluye que la gestión de inventarios del Centro Automotor Castro presentaba falencias estructurales derivadas de la ausencia de políticas técnicas de reposición, lo que generaba prolongada permanencia, baja rotación y altos costos de mantenimiento; el diagnóstico inicial evidenció que las decisiones se realizaban sin criterios cuantitativos, afectando directamente la rentabilidad y la liquidez del negocio. A partir del desarrollo

metodológico se establece que un sistema empírico no es sostenible para un mercado caracterizado por alta variabilidad en la demanda, por lo cual se hace imprescindible migrar hacia modelos probabilísticos que permitan anticipar escenarios y soportar decisiones con mayor precisión técnica.

Se concluye que el modelo estocástico (r, Q) constituye la herramienta más adecuada para el concesionario, dado que integra la demanda variable, el Lead Time, el nivel de servicio y los costos asociados, ofreciendo una política de reorden coherente con las necesidades reales del inventario; los resultados demostraron que el modelo mejora la rotación anual, reduce los tiempos de permanencia y disminuye el costo total del inventario, lo que confirma su aporte para optimizar la estructura financiera de la empresa; la flexibilidad del modelo permite actualizar sus parámetros periódicamente, asegurando una implementación sostenible en el tiempo.

La investigación confirma que la simulación de escenarios constituye un elemento fundamental para comprender cómo se comportará el inventario bajo distintos contextos de demanda, permitiendo que la empresa pueda tomar decisiones prudentes en situaciones de caída del mercado o de picos de ventas; esta capacidad predictiva se convierte en un elemento estratégico para garantizar liquidez y evitar la acumulación de vehículos ociosos y la integración del análisis de sensibilidad del nivel de servicio fortalece la conclusión de que cada decisión sobre r , Q e I_{seg} debe ser evaluada desde un equilibrio entre costo financiero y disponibilidad para el cliente.

El uso del método AHP permitió concluir que la implementación del modelo no depende únicamente de cálculos matemáticos, sino de la decisión estratégica de priorizar acciones que permitan su puesta en marcha de manera coherente; el análisis multicriterio determinó siete

estrategias clave que alinean tecnología, comercialización, control operativo y planeación financiera, confirmando que el éxito del modelo no reside solo en su diseño, sino en la articulación de prácticas que fortalezcan su adopción ; resaltando la relevancia de decisiones estructuradas que integren criterios técnicos, operativos y económicos.

Finalmente, el proyecto concluye que el modelo estocástico diseñado y las estrategias priorizadas mediante AHP constituyen una hoja de ruta sólida para transformar la gestión de inventarios del Centro Automotor Castro, impulsando mejoras en la competitividad, la sostenibilidad financiera y la capacidad de respuesta ante la demanda variable del sector automotor; se establece que investigaciones futuras pueden profundizar en modelos multiperíodo, algoritmos metaheurísticos o integración con sistemas informáticos, ampliando el alcance del análisis y fortaleciendo la toma de decisiones basada en datos dentro del sector.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar de manera formal un protocolo de reposición basado estrictamente en la política (r, Q) , de modo que las decisiones de compra no dependan de percepciones individuales sino de umbrales calculados a partir de la demanda variable y del inventario de seguridad; este protocolo debe incluir la verificación diaria del nivel de inventario, la activación automática de la orden cuando se alcance el punto de reorden y la revisión mensual de los parámetros r e I_{seg} para ajustarlos según el comportamiento reciente del mercado, garantizando que la empresa mantenga un equilibrio adecuado entre disponibilidad de unidades y control del capital invertido, disminuyendo así los riesgos de sobrestock y mejorando la eficiencia financiera del concesionario.

Es necesario fortalecer la cultura de datos en la empresa mediante la digitalización completa del registro de inventarios y la realización de auditorías semanales que aseguren la coherencia entre los datos físicos y digitales, ya que la precisión de la información es condición indispensable para recalcular los parámetros del modelo estocástico y para que las decisiones derivadas de r y Q sean confiables; adoptar herramientas en tiempo real permitirá disminuir errores humanos, mejorar la trazabilidad de cada vehículo y asegurar que los indicadores de rotación, permanencia y costo total reflejen la situación real del inventario, lo cual impacta directamente la capacidad de planificación y la sostenibilidad operativa del concesionario.

Se recomienda integrar las decisiones comerciales y financieras con los escenarios de demanda obtenidos del modelo, de manera que el área comercial ajuste precios, vitrinas digitales y campañas promocionales según los niveles de permanencia y rotación proyectados, mientras el área financiera anticipa necesidades de capital de trabajo y planifica el flujo de caja con base en la variabilidad del mercado; esta articulación permitirá que la empresa responda oportunamente a

ciclos de alta y baja demanda, reduzca acumulaciones innecesarias de vehículos en patio y tome decisiones estratégicas que fortalezcan su liquidez y competitividad, asegurando que el modelo estocástico no se limite a un ejercicio técnico sino que se convierta en una herramienta de gestión integral para el concesionario.

REFERENCIAS

Andemos. (2024). Informe del sector automotor en Colombia 2024. Asociación Nacional de Movilidad Sostenible. Obtenido de <https://www.andemos.org/registroinformesinteractivos>

Arrieta Pérez, S. J. (2018). Modelo estocástico de inventario multiartículo con restricciones múltiples [Tesis de pregrado]. Universidad de Córdoba, Montería. Disponible en <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/af07065d-1b85-4857-8beb-9a8a56518d85>

Autofact. (2024). Depreciación de vehículos en Colombia: qué es y cómo calcularla. Autofact. Obtenido de <https://www.autofact.com.co/blog/mi-carro/vender/depreciacion#:~:text=En%20los%20primeros%2024%20a,en%20la%20herramienta%20de%20Autofact>

Autostore System. (2024). Tasa de rotación de inventario: qué significa y cómo gestionarla. Autostore. Obtenido de <https://www.autostoresystem.com/es/insights/what-is-inventory-turnover-and-how-to-manage-it>

Bertsimas, D., & Thiele, A. (2006). A robust optimization approach to inventory theory.

Operations Research, 54(1), 150–168. Disponible en

<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.1050.0249>

Browne, J., & Zipkin, P. (2019). Inventory models with continuous, stochastic demands.

Columbia Business School. Disponible en

<https://business.columbia.edu/sites/default/files->

[efs/pubfiles/6353/browne_inventory_models.pdf](https://business.columbia.edu/sites/default/files-efs/pubfiles/6353/browne_inventory_models.pdf)

Cachon, G., & Terwiesch, C. (2019). Matching supply with demand: An introduction to

operations management (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Centro Automotor Castro. (2025). Informe de gestión financiera e inventarios 2024–2025.

Documento interno de la empresa.

Centro Automotor Castro. (2025). Informe de inventarios 2024–2025. Documento interno de la

empresa.

Centro Automotor Castro. (2025). Informe de costos operativos de inventario 2024–2025.

Documento interno de la empresa.

Chopra, S., & Meindl, P. (2022). Supply chain management: Strategy, planning, and operation

(8th ed.). Pearson.

ComparaOnline. (2023). ¿Qué es la depreciación de los vehículos y cómo afecta su valor?

Obtenido de <https://www.comparaonline.com.co/blog/autos/seguro-todo-riesgo/que-es-depreciacion-de-los-vehiculos-informate>

Cuervo-Cruz, R. A. (2021). Modelos logísticos estocásticos aplicados a la cadena de suministro.

Ingeniería e Investigación, 41(3), 33–44. Disponible en

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2021000300334

do Rego, J. R., & de Mesquita, M. A. (2015). Demand forecasting and inventory control: A

simulation study on automotive spare parts. International Journal of Production

Economics, 161, 217–230. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.009>

Fenalco. (2024). Informe anual del mercado de vehículos usados en Colombia. Federación

Nacional de Comerciantes. Obtenido de [https://www.fenalco.com.co/blog/gremial-](https://www.fenalco.com.co/blog/gremial-4/informe-del-sector-automotor-a-diciembre-2024-7754)

[4/informe-del-sector-automotor-a-diciembre-2024-7754](https://www.fenalco.com.co/blog/gremial-4/informe-del-sector-automotor-a-diciembre-2024-7754)

Formeloza, L. A. (2023). The inventory management practices and organizational efficiency of a

car dealer in San Pablo City. Journal of Third World Economics, 1(2), 83–86. Disponible

en <https://jtwe.com.my/archives/2jtwe2023/2jtwe2023-83-86.pdf>

Law, A. M. (2015). Simulation modeling and analysis (5th ed.). McGraw-Hill.

Maitra, S. (2024). Inventory management under stochastic demand: A simulation-optimization

approach. arXiv preprint. Disponible en <https://arxiv.org/pdf/2406.19425.pdf>

- Martínez-Bernal, J., Cuervo-Cruz, R. A., & Orjuela-Castro, J. A. (2020). Modelos logísticos estocásticos: una revisión de la literatura. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(3), 55–64. Disponible en https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/modelos_logisticos_estocasticos_una_revisi%0Aon_de_la_literatura
- Maxiautos. (2024). El mercado de vehículos usados en Colombia: guía completa. Maxiautos. Obtenido de <https://maxiautos.co/blog/articulo/el-mercado-de-vehiculos-usados-en-colombia-una-guia-completa.html>
- Mejía, J., Gómez, M., & Sánchez, F. (2022). Inventory model with stochastic demand using single-period problem. *Processes (MDPI)*, 10(4), 783. Disponible en <https://www.mdpi.com/2227-9717/10/4/783>
- Mentzer, J. T., & Moon, M. A. (2020). *Sales forecasting management*. SAGE Publications.
- Mula, J., Peidro, D., & Díaz-Madroñero, M. (2017). Mathematical programming models for supply chain production and inventory planning. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 773–796. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221717305532>
- Nahmias, S., & Olsen, T. (2015). *Production and operations analysis* (7th ed.). Waveland Press.
- Reddy, D. G., Yerram, S. R., & Mallipeddi, S. (2018). Stochastic optimization models for supply chain management: Integrating uncertainty into decision-making processes. *Global Disclosure of Economics and Business*, 7(2). Disponible en https://www.researchgate.net/publication/378966669_Stochastic_Optimization_Models_f

or_Supply_Chain_Management_Integrating_Uncertainty_into_Decision-Making_Processes

- Ronzoni, C., Gallo, M., & Zavanella, L. (2015). A stochastic methodology for the optimal management of spare parts in the automotive sector. *Reliability Engineering & System Safety*, 136, 170–183.
https://www.researchgate.net/publication/282467880_A_Stochastic_Methodology_for_the_Optimal_Management_of_Infrequent_Demand_Spare_Parts_in_the_Automotive_Industry
- Rossi, R. (2019). Stochastic inventory control: A literature review. University of Padova.
 Disponible en https://gwr3n.github.io/chapters/Ma_MIM_2019.pdf
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (2017). *Inventory management and production planning and scheduling* (4th ed.). Wiley.
- Singh, P., & Singh, M. (2021). Inventory management strategies under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 235, 108085. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527321001398>
- Tan, N. D., Kim, H.-S., Long, L. N. B., Nguyen, D. A., & You, S.-S. (2024). Optimization and inventory management under stochastic demand using metaheuristic algorithm. *PLOS ONE*, 19(1), e0286433. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286433>

Torres, J., & Ramírez, C. (2024). Aplicación de los modelos de inventario en la cadena de suministro. *Revista UIS Ingenierías*, 23(2), 60–75. Disponible en <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/1324>

ANEXO TÉCNICO A

Implementación computacional del modelo estocástico (r, Q)

Con el fin de complementar el desarrollo matemático del modelo estocástico y garantizar su reproducibilidad, se presenta una implementación computacional que permite ejecutar el cálculo del inventario mes a mes bajo la política (r, Q) para cualquiera de los escenarios analizados. El código mostrado a continuación replica el procedimiento aplicado en la hoja de cálculo y facilita la evaluación de los parámetros definidos en el objetivo 3.

El algoritmo utiliza como entrada los valores de demanda mensual, desviación estándar, costos, tamaño de pedido y punto de reorden previamente calculados con base en los datos históricos del Centro Automotor Castro, y como salida entrega indicadores de rotación, costos totales y permanencia promedio.

```
import numpy as np

def simular_inventario(mu_D, sigma_D, LT, r, Q, h, Co, p, meses=36):
    inventario = r + Q
    pedidos_pendientes = []
    costo_mantenimiento = 0
    costo_ordenes = 0
    ventas = 0
    faltantes = 0
    dias_permanencia = []

    for t in range(meses):
        # Llegan pedidos previos
```

```
nuevos = [p for p in pedidos_pendientes if p[0] == t]
for _, cantidad in nuevos:
    inventario += cantidad
pedidos_pendientes = [p for p in pedidos_pendientes if p[0] != t]
```

```
# Demanda del mes
demanda = max(0, np.random.normal(mu_D, sigma_D))

# Venta según inventario disponible
venta_mes = min(inventario, demanda)
ventas += venta_mes

faltantes_mes = max(0, demanda - inventario)
faltantes += faltantes_mes

inventario -= venta_mes

# Permanencia promedio aproximada
dias_permanencia.append(inventario)

# Costo de mantenimiento
costo_mantenimiento += inventario * h
```

A.2 Descripción del funcionamiento

El algoritmo sigue los mismos pasos descritos en el procedimiento del modelo:

- Actualiza los pedidos que llegan según el Lead Time
- Genera la demanda mensual según los parámetros del escenario

- Calcula ventas, faltantes y costos
- Evalúa el punto de reorden y programa nuevas compras
- Acumula la permanencia promedio
- Retorna indicadores anuales equivalentes a los utilizados en el análisis

A.3 Tabla de ejemplo de parámetros de entrada

Parámetro	Valor de referencia
μD	19 veh/mes
σD	4 veh/mes
LT	1 mes
r	26 unidades
Q	9 unidades
h	210 000 COP/mes
Co	450 000 COP/orden
ppp	margen típico por unidad

A.4 Uso del algoritmo en la validación del modelo

Este código permitió verificar la coherencia de la política (r , Q) obtenida en los escenarios pesimista, base y optimista, reproduciendo mes a mes el comportamiento del inventario según los patrones reales de demanda de la empresa.

```

# Revisión del punto de reorden

if inventario <= r:

    pedidos_pendientes.append((t + LT, Q))

    costo_ordenes += Co


utilidad = ventas * p

costo_faltantes = faltantes * p

costo_total = costo_mantenimiento + costo_ordenes + costo_faltantes


permanencia_promedio = np.mean(dias_permanencia)


return {

    "Ventas totales": ventas,

    "Costo total": costo_total,

    "Costo mantenimiento": costo_mantenimiento,

    "Costo órdenes": costo_ordenes,

    "Costo faltantes": costo_faltantes,

    "Permanencia promedio": permanencia_promedio

}

```