

PROPUESTA DE SISTEMA AUTOMATIZADO BASADO EN MACHINE LEARNING PARA
LA GESTIÓN DE INVENTARIOS EN LA BODEGA DE COMPRAS DE VGC

DERLY NAYDU BARRANTES MAYORGA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C
2025

PROPUESTA DE SISTEMA AUTOMATIZADO BASADO EN MACHINE LEARNING PARA
LA GESTIÓN DE INVENTARIOS EN LA BODEGA DE COMPRAS DE VGC

DERLY NAYDU BARRANTES MAYORGA

Monografía como trabajo de grado para optar al título de Ingeniera industrial e ingeniera
mecatrónica

Director y codirector
CHRISTIAN ALEJANDRO PINEDA TORRES
ADOLFO LEON AGATON

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C
2025

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado, titulado **PROPUESTA DE SISTEMA AUTOMATIZADO BASADO EN ML PARA LA GESTIÓN DE INVENTARIOS EN LA BODEGA DE COMPRAS DE VGC** elaborado y presentado por la estudiante **DERLY NAYDU BARRANTES MAYORGA**, como requisito parcial para optar al título de ingeniería mecatrónica e ingeniería industrial, fue aprobado por el jurado calificador

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. 2025

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	8
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
1. PROBLEMA	12
1.1. Definición del problema	12
1.2. Justificación de la necesidad	14
1.3. Análisis y descripción detallada del problema	15
1.4. Pregunta de investigación	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
2.1. Impacto y beneficios.	19
2.2. Relevancia para las Políticas Institucionales y la Sociedad.	21
3. OBJETIVOS	23
3.1. Objetivo general	23
3.2. Objetivos específicos	23
4. ALCANCES Y LIMITACIONES	24
4.1. Alcances	24
4.2. Limitaciones	24
5. MARCO REFERENCIAL	26
5.1. Estado del arte	26
5.2. Marco histórico	28
5.3. Marco teórico y/o técnico	30
5.4. Marco conceptual	39
5.5. Marco legal	43
6. DISEÑO METODOLOGICO	47
6.1. Tipo de investigación	47
6.2. Enfoque de investigación	47
6.3. Hipótesis, variables e indicadores	47

6.4.	Universo	49
6.5.	Población	49
6.6.	Muestra	50
6.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50
7.	RESULTADOS	53
7.1.	Clasificación por medio de metodología abc	55
7.2.	Modelos de machine learning para predicción de demanda	58
7.3.	Interfaz	65
7.4.	Indicadores de seguimiento	69
8.	CONCLUSIONES	73
9.	RECOMENDACIONES	75
10.	BIBLIOGRAFIA	76
	Libros	76
	Artículos de revistas científicas	77
	Tesis y trabajos académicos	80
	Normas y leyes	80
	Informes y documentos corporativos	81

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. DÍAS PROMEDIO DE ATENCIÓN	14
TABLA 2. CARGA LABORAL OPERARIO BODEGA	16
TABLA 3. VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES	48
TABLA 4. CRITERIO 1 - LENGUAJE	53
TABLA 5. CRITERIO 2 - PROGRAMA	54
TABLA 6. CRITERIO 3 - MODELOS DE PREDICCIÓN	54
TABLA 7. CRITERIO 4 - INTERFAZ	54
TABLA 8. CRITERIO 5 - LIBRERÍAS	55
TABLA 9. TOP 10 ARTÍCULOS POR VALOR DE CONSUMO CON PARTICIPACIÓN PORCENTUAL ACUMULADA	56
TABLA 10. PROPORCIÓN POR ÍTEMS E IMPORTANCIA	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
IMAGEN 1. RESULTADOS ESPERADOS A PARTIR DE HIPÓTESIS	49
IMAGEN 2. PROPORCIÓN TOTAL DE ÍTEMS ABC	57
IMAGEN 3. PARAMETRIZACIÓN DE METODOLOGÍA ABC	57
IMAGEN 4. LIMPIEZA DE DATOS EN ML	60
IMAGEN 5. PRONÓSTICOS POR ARTÍCULO	63
IMAGEN 6. MÉTRICAS DE MODELOS	64
IMAGEN 7. PESOS Y SESGOS DE LOS PRONÓSTICOS	65
IMAGEN 8. LOGIN	66
IMAGEN 9. DISEÑO INTERFAZ	68
IMAGEN 10. DIAGRAMA DE LÓGICA	69
IMAGEN 11. INDICADORES DE GESTIÓN	72

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1: DEPURADO
- ANEXO 2: CODIGO OBJETIVO 1
- ANEXO 3: CODIGO OBJETIVO 2
- ANEXO 4: CODIGO OBJETIVO 3
- ANEXO 5: RESULTADOS OBJETIVO 1
- ANEXO 6: RESULTADOS OBJETIVO 2
- ANEXO 7: RESULTADOS OBJETIVO 3
- ANEXO 8; POLTICA DE COMPRAS
- ANEXO 9: POLITICA DE INVENTARIOS
- ANEXO 10: WORK INSTRUCTION S&P - VGC

GLOSARIO

VGC – Volvo Group Colombia

IA- Inteligencia artificial

EPP's – Elementos de protección personal

HSE – Health Security and Environment

P&C – People and Culture

ERP – Enterprise resource planning

KPI - Indicador clave de rendimiento

PI – Indicador de proceso

ETL - Extract, Transform and Load

ML – Machine Learning

RESUMEN

El siguiente documento tiene como objetivo proponer un diseño de un sistema automatizado aplicando Machine Learning que permita manejar el inventario de la bodega de compras de Volvo Group Colombia en el mercado de buses y camiones, la idea de este proyecto nace de la urgencia de agilizar las operaciones y de que la empresa siga siendo competitiva en un mercado donde cada vez es más difícil destacar. Optimizar la gestión de los inventarios es crucial para cualquier compañía que quiera mantenerse en lo más alto en el enfoque logístico.

La finalidad es mejorar el desempeño de la bodega, minimizar esfuerzo y recurso humano y contribuir con la seguridad que es un pilar fundamental de la compañía.

Para lograr lo mencionado previamente, se consultaron diferentes modelos de Machine Learning, que aplicarían a la industria automotriz junto con los modelos de inventarios, que se pueden implementar de acuerdo con familias representativas a nivel presupuestal.

Para el desarrollo del proyecto se empleó una metodología mixta que involucro una revisión de literatura, análisis de informes de comportamiento de la bodega, información suministrada por parte de la compañía específicamente del área de compras y finanzas, puesta en marcha de la propuesta y documentación de esta

Finalmente los resultados obtenidos se documentan para cada uno de los objetivos plasmados, en cuanto al ML se sustentan bajo algunas métricas que muestran un alto nivel de precisión en las predicciones de demanda, estas métricas, junto con la clasificación ABC, se muestran en la interfaz y entre si se muestra una integración transversal de lo planteado. En síntesis, los resultados muestran que la aplicación de ML en procesos de logística como lo son los inventarios de la bodega de compras de VGC mejora la exactitud, fortalece la planeación, pero adicional contribuye con la operatividad, la seguridad de los colaboradores y la sostenibilidad de la operación de la compañía

PALABRAS CLAVE: INVENTARIOS, METODOLOGÍA ABC, MACHINE LEARNING, PYTHON, INDICADORES

INTRODUCCIÓN

En un ambiente empresarial hoy en día, manejar correctamente los inventarios no solo es vital para asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios, sino también para reducir los costos operativos, de desabastecimiento y de acumulaciones innecesarias de productos de baja rotación. La situación actual en la bodega de compras de Volvo Group Colombia (VGC) presenta varios retos que están afectando directamente tanto la productividad como la seguridad. Dentro de estos desafíos se tiene, demoras en la entrega oportuna de insumos a los colaboradores, almacenamiento de insumos con poca rotación y procesos manuales que dan lugar a la probabilidad de errores. Estos factores no solo impactan la productividad, sino la seguridad del personal y hasta el clima organizacional, esto compromete desempeño y gastos adicionales.

La hipótesis principal de este estudio plantea que, por medio de la implementación de la propuesta del sistema automatizado, teniendo en cuenta metodologías de clasificación de inventario e inteligencia artificial (IA), se logre optimizar la gestión en la bodega de compras de VGC. Se espera que esta iniciativa reduzca los errores humanos, mejore los tiempos de operación y garantice disponibilidad de productos, de forma que se logre mejorar la satisfacción de los empleados y contribuirá a la sostenibilidad de las operaciones de la empresa.

El proyecto gira en torno a la necesidad de dejar atrás los procesos manuales actuales, que han demostrado no ser efectivos para manejar la complejidad y el volumen de trabajo en compras que es el departamento encargado del funcionamiento de la bodega. La propuesta pretende automatizar, de forma que se logre tener un control preciso del inventario, evaluando la metodología de inventarios que se desarrolle de forma breve y real, permitiendo monitorear en tiempo real y facilitando así la toma de decisiones basadas en datos actualizados y confiables. Además, se emplea el análisis ABC, que se adapta a la situación real de consumo mediante modelos tradicionales y modelos de predicción basados en IA

El estudio involucra temas claves que permiten el desarrollo de una interfaz gráfica en Python, que muestra la comparación de los resultados del análisis tradicional de clasificación ABC con los obtenidos por medio de un modelamiento de Machine Learning a partir de históricos de consumo. Esta interfaz brinda a los analistas de compras una visualización concreta que facilita la toma de decisiones, dado que permite identificar posibles discrepancias entre los diferentes métodos que se pueden implementar para definir las etapas de presupuesto y aprovisionamiento.

Este documento ahonda en los aspectos teóricos y metodológicos que respaldan la propuesta, explorando ideas clave como el análisis ABC, el sistema de inventario Just inTime (JIT), predicciones de demanda mediante inteligencia artificial, tecnologías para atrapar y procesar datos del funcionamiento de bodegas o almacenes. Además, se analiza el marco legal y normativo que se debe tener en cuenta en Colombia para la automatización de procesos, asegurando que la implementación del sistema cumpla con

las normativas actuales y promueva prácticas seguras y sostenibles dentro de la empresa.

A lo largo del análisis, se plantea una visión integral que no solo considera los beneficios operativos de la automatización, sino también su impacto en la cultura organizacional y en la satisfacción de los empleados. Finalmente, la propuesta busca implementar un sistema automatizado de inventarios con implementación de la inteligencia artificial e interfaces visuales de apoyo, que contribuya indirectamente a la modernización de los procesos y operaciones de VGC, así como la optimización de recursos y una alternativa que afronta los desafíos del mercado actual y futuro.

1. PROBLEMA

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En un contexto empresarial, gestionar adecuadamente los inventarios es clave para que una empresa siga siendo competitiva y pueda aprovechar al máximo los recursos que tiene. En Volvo Group Colombia (VGC) la bodega de compras desempeña un papel fundamental en la operatividad diaria, ya que esta relaciona con el suministro de insumos indirectos como elementos de protección personal (EPP), herramientas para personal técnico y logístico y dotaciones. La disponibilidad de esta familia de productos es crucial para el desarrollo de actividades de operación, seguridad y soporte de los equipos de logística y servicio principalmente. Ahora bien, estos insumos también obedecen a entregas particulares a áreas administrativas que no afectan directamente el desarrollo de la operación, pero su problemática afecta aspectos de seguridad y ambiente laboral también.

Sin embargo, actualmente surgen varios problemas en la ejecución del proceso de inventarios de la bodega, algunos de ellos son: retrasos en la entrega de insumos, acumulación de productos de baja rotación, incluso algunos que pasan a ser obsoletos y errores de personal operativo, dado que no se cuenta con un método claro de ejecución ni una estructura para la clasificación y el control de inventarios, estos retos tienen diferentes impactos: a nivel operativo, impactan la productividad; a nivel financiero, incrementan el gasto, a nivel de HSE se tiene la apertura a condiciones de riesgo y a nivel de P&C la negatividad en el clima organizacional.

El origen del problema, como se mencionaba anteriormente, viene dado por la carencia de un proceso y/o un sistema automatizado que permita una adecuada gestión de inventarios, una estandarización de este, y una anticipación a diferentes eventualidades. La supeditación de tareas manuales y ausencia de un análisis predictivo dificulta que la gestión sea confiable.

Existen diferentes estudios que muestran que automatizar los sistemas de inventarios puede hacer una gran diferencia en cómo se manejan las operaciones y en la seguridad, ya que se reduce la dependencia de procesos manuales y se minimizan los errores. Por ejemplo, en 2016, Gómez y Guzmán analizaron cómo se gestionaban los inventarios en Ingeniería Sólida Ltda. y se dieron cuenta de que la falta de un sistema uniforme era un gran obstáculo para que la empresa funcionara bien. Al implementar un sistema automatizado, vieron una mejora notable en cómo se gestionaban los inventarios, lo que subraya la importancia de tener procesos estandarizados y automatizados para el control y supervisión de los inventarios.

En una línea similar, Castro y otros (2020) demostraron que al automatizar el proceso de inventarios en Retail S.A., no solo se redujeron los tiempos de operación, sino que también se mejoró la precisión en el control de existencias. Esto llevó a una mayor satisfacción del cliente y una mejor optimización de los recursos. Estos resultados

refuerzan la idea de que implementar un sistema automatizado de gestión de inventarios es una solución eficaz para los problemas que se han identificado en VGC.

En la bodega de compras de VGC, los retos detectados han mudado en retrasos para realizar mantenimientos y reparaciones de las unidades (Buses y camiones), sobrecostos por sobre stock y rupturas de stock. Situaciones que demuestran que se carece de un sistema automatizado con capacidad de analizar, clasificar, y controlar el inventario de forma adecuada.

Distintos estudios a lo largo de los años han demostrado la automatización de inventarios como una mejora de precisión en el control de la existencias y optimización de los tiempos de operación. Gómez y Guzmán (2016) señalaron que la ausencia de un sistema con estándares de inventarios en Ingeniería Sólida Ltda. desembocaba en la generación de ineficiencias y sobrecostos, una situación que mejoró de forma significativa luego de la implementación de una plataforma automatizada. Así mismo, Castro et al. (2020) generaron un análisis de impacto sobre la digitalización en Retail S.A. concluyendo que la automatización minimizó los errores en la gestión de inventarios, mejoraría la disponibilidad de productos y aumentó la satisfacción de los empleados y clientes.

Además, considerando los avances tecnológicos disponibles, el agregar herramientas basadas en inteligencia artificial (IA) y Machine Learning (ML) permitirá identificar patrones de consumo, que estarán relacionados con posibles predicciones de demanda futura y consiguiendo la optimización de la clasificación de los productos por medio de metodologías como ABC. Estas tecnologías han sido demostradas por diferentes autores, pues según Mora, Rodríguez y Martínez (2021), *“el uso de algoritmos de Machine Learning en la gestión de inventarios mejora la precisión en el pronóstico de rotación de productos, reduce el desabastecimiento y permite la automatización de decisiones de reposición, aumentando la eficiencia operativa de las bodegas”*, así mismo no solo se habla de automatización sino de predicciones de demanda, que es una estrategia clave para mantener un nivel óptimo el stock. Como destacan Riascos-Guerrero, Bravo-Aroyave y Galván-Colonia (2024), *“la aplicación de algoritmos avanzados de aprendizaje automático permite procesar grandes volúmenes de datos históricos de ventas, patrones de compra, tendencias de mercado y condiciones económicas, contribuyendo significativamente a través de la precisa predicción de la demanda futura.”*

Para enfrentar estos retos, se propone implementar un sistema automatizado de gestión de inventarios en la bodega de compras de VGC que combine metodologías de clasificación como es el método ABC y los algoritmos de Machine Learning, integrados en una interfaz gráfica. Esta solución busca garantizar la disponibilidad de herramientas, EPP's y dotación reducir gastos operativos y contribuir al pilar de seguridad de forma organizada.

Con la intención de abordar la problemática que se enmarca, se plantea la siguiente pregunta de investigación: *¿De qué manera puede un sistema automatizado*

generar mejoras en la gestión de inventarios en la bodega de compras de Volvo Group Colombia con el fin de optimizar la disponibilidad de EPP, herramientas y dotación, minimizando costos y mejorando la eficiencia operativa?

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

La mejora en la gestión de inventarios en Volvo Group Colombia es una necesidad de la compañía, no solo del área de compras, dado que es crucial la disponibilidad de los EPPS, dotación y herramientas que impactan directamente la operatividad diaria, la seguridad de los colaboradores y el cumplimiento de objetivos. La disponibilidad de estos tres grupos de compras es fundamental, ya que estos son necesarios para el día a día en la operación. El desabastecimiento puede generar demoras importantes en las entregas y ejecución de actividades, lo que ocasiona que los gastos se eleven, dado que será necesario invertir más tiempo en solucionar problemas de inventario, incluso puede generar sobrecostos en la adquisición y reposición de inventarios. Todo esto, repercute negativamente en el cumplimiento de las metas y estrategias trazadas.

Por otro lado, la seguridad de los trabajadores es un pilar fundamental en VGC, dado es un hito a nivel global, una deficiente gestión del inventario puede comprometer indicadores de salud, seguridad y medio ambiente (HSE) al no garantizar los insumos oportunos. En este orden de ideas, sin un sistema automatizado y una forma correcta de manejar los inventarios, no solo se pone en peligro la integridad de los empleados, sino que también se limita la capacidad de la compañía para trabajar de manera eficaz y cumplir con sus plazos y compromisos.

Además, los tiempos actuales de atención y reposición para familias como EPP's, dotación y herramientas son bastante prolongados lo que ocasiona paros en la operación, a continuación, la tabla 1 que muestra este promedio, donde consumibles y menor cuantía se asocian a herramientas, y protección personal involucra EPP's y dotación tanto para personal operativo (Blue Collar) como para personal administrativo (White Collar)

Tabla 1. Días promedio de atención

Tipo de orden de compra	Promedio días de atención
Consumibles	20
Menor Cuantía	19
Protección personal Blue Collar	39
Protección personal White Collar	20

Fuente propia

Estudios citados previamente, como el de Gómez y Guzmán en 2016, muestran que, al implementar sistemas de inventario automatizados y efectivos, se puede lograr un mejor control sobre materiales y herramientas en empresas parecidas. Esta información resalta la importancia de adoptar un enfoque automatizado, moderno y bien

estructurado para manejar los inventarios en la bodega de compras de VGC, esto ocasionará agilizar los procesos y a disminuir la dependencia del trabajo manual, reduciendo así los errores humanos. De igual manera, investigaciones como las de Castro y su equipo en 2020 han subrayado los beneficios claros de la automatización en la toma de inventarios, como la disminución de los tiempos de operación y la mejora en la precisión del control de existencias.

Finalmente, adoptar la propuesta del sistema automatizado para gestionar los inventarios en Volvo Group Colombia no solo es vital para mantener la eficiencia y la seguridad dentro de la empresa, sino que también es un movimiento estratégico que le permitirá a la compañía ser más competitiva en el mercado y asegurarse de cumplir con sus objetivos a largo plazo. Ahora bien, el desarrollo de herramientas con Python como es la interfaz gráfica permite construir una solución ajustada a las necesidades actuales de la bodega de compras, esta propuesta facilita la visualización y la clasificación de los inventarios, pues el ML logra que la información sea analizada de modo predictivo, facilitando la toma de decisiones ya que ofrece una experiencia al usuario intuitiva y funcional para los responsables de la bodega.

1.3. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROBLEMA

En la bodega de compras de VGC se han identificado una serie de retos que provienen de la gestión ineficiente los inventarios. La primera y más importante es la carencia de un sistema estructurado para la clasificación y priorización de los productos, esta dificultad ocasiona el desequilibrio entre la disponibilidad de los productos críticos y el sobre stock de aquellos productos que son de baja rotación.

Lo mencionado anteriormente se convierte en un dilema más grande cuando el funcionamiento actual de la bodega no cuenta con una automatización y se da lugar a los procesos manuales, en este último escenario se da apertura a los errores en la reposición del inventario y a la falta de trazabilidad en tiempo real, imposibilitando detectar los patrones de consumo, las necesidades actuales y del corto plazo, y la toma de decisiones de acuerdo con el histórico

Como se observa en la Tabla 2, la carga laboral del personal encargado de la bodega se concentra en tareas manuales como revisión de stock y confirmaciones, actualizaciones de inventario, correo de notificación de envío de mercancía, actualizaciones de bases de datos y precios, etc., lo que genera una saturación y aumenta la probabilidad de errores, Con un total de 3,29 horas al día.

Tabla 2. Carga laboral operario bodega

Actividad General	Frecuencia	Cantidad por frecuencia	Tiempo (Min)	Tiempo Global (H)	Horas Día
Diligenciar SC	Diaria	5	5	0,42	0,42
Realizar OC	Diaria	13	5	1,08	1,08
SC dotación y EPP's	Mensual	18	4	1,20	0,06
OC dotación y EPP's	Mensual	18	4	1,20	0,06
Asignación de valores de artículo Zeus	Semanal	1	20	0,33	0,07
Revisión de stock y confirmación	Diaria	2	6	0,20	0,20
Entrega de mercancía bodega a cliente	Diaria	2	15	0,50	0,50
Actualización de inventario	Diaria	2	7	0,23	0,23
Correo notificación de envío de mercancía	Diaria	4	2	0,13	0,13
Recepción de mercancía	Diaria	2	8	0,27	0,27
Sesión proyecto de inventarios	Semanal	1	60	1,00	0,20
Actualización BD EPP's	Mensual	3	10	0,50	0,03
Actualización de precios en sistema	Semestral	1	310	5,17	0,04

Fuente propia

El análisis del plan de Inventarios en la bodega de compras de Volvo Group Colombia evidencia diversas deficiencias que ejercen un efecto negativo en la eficiencia de la gestión de los inventarios, pues no se cuenta con una metodología de clasificación dinámica que permita determinar la rotación, frecuencia, criticidad de los productos. Del mismo modo, no se cuenta con políticas claras que sean capaces de regular los procedimientos de reposición de inventarios, desembocando así en desabastecimientos y excesos de stock, que como se ha venido mencionando repercute en temas de tiempos de respuesta, disponibilidad del personal, seguridad de este y cumplimiento de metas.

Por otro lado, el estudio realizado por Castro y su equipo en 2020, sobre la automatización en la toma de inventarios, subraya la importancia de incorporar tecnología que reduzca la necesidad de intervención manual y que aumente la precisión en el manejo de los inventarios, lo cual es vital para asegurar que siempre haya productos disponibles y que las operaciones no se detengan (Castro et al., 2020).

Frente a este panorama, surge la necesidad de proponer el uso de una herramienta tecnológica moderna que aproveche el lenguaje de programación Python para integrar algoritmos de Machine Learning que tienen la capacidad de clasificar los productos según su rotación y su criticidad, de este modo se van a detectar patrones de consumo que permite optimizar las reposiciones y facilitar la toma de decisiones.

La solución propuesta incluye una interfaz gráfica interactiva, que facilita la visualización, análisis y control de inventarios en tiempo real, por parte de los responsables de la bodega. En este módulo se tendrá acceso a información relevante,

como alertas de desabastecimiento, niveles de stock y comportamientos históricos que son variables clave a la hora de tomar decisiones.

En conclusión, la situación problema no se limita a la deficiente gestión de inventarios, sino a la falta de una solución tecnológica adaptada a la necesidad real de la bodega, que esta última contempla análisis predictivo, visualización intuitiva y automatización alineado con objetivos del grupo VGC.

1.4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo desarrollar un sistema automatizado para la gestión de inventarios en la bodega del área de compras de Volvo Group Colombia, que involucre Machine Learning y una interfaz gráfica desarrollada con lenguaje Python que considere la demanda de consumo y reduzca a la intervención manual de los operarios?

La pregunta contempla los elementos clave de la formulación del problema descrito anteriormente:

- **¿Qué?:** Propuesta de desarrollo de sistema automatizado para la gestión de inventarios.
- **¿Cómo?:** Por medio de Machine Learning para analizar la rotación de los productos, con una interfaz gráfica que facilite la visualización de la información.
- **¿Para qué?** Reducir las tareas operativas manuales, facilitar la toma de decisiones y garantizar la disponibilidad de productos críticos
- **¿Quiénes?:** El área de compras y los operarios que gestionan la bodega.
- **¿Dónde?:** La bodega de compras de Volvo Group Colombia en la sede de Bogotá, Colombia.

La pregunta problema está orientada a la investigación del diseño de una posible solución que tenga en cuenta el análisis predictivo, algoritmos desarrollados por Python en el marco del Machine Learning y una interfaz que permita mostrar la información.

2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se lleva a cabo en un entorno que demanda el uso de conocimientos científicos y metodologías prácticas para mejorar los procesos empresariales, con un enfoque específico en la gestión de inventarios, componente estratégico para el día a día de la compañía, es más la implementación no solo responde a necesidades operativas inmediatas, sino que también marca un paso estratégico hacia la modernización y sostenibilidad de las operaciones de la compañía.

La propuesta de un sistema automatizado basado en Machine Learning (ML) para la gestión de inventarios de la bodega de compras de Volvo Group Colombia se presenta como una solución innovadora para el sector. El proyecto de automatización fundamenta metodologías científicas y académicas como lo son análisis ABC, análisis de Pareto y Machine Learning, mismas que hacen parte de la optimización de la gestión de inventarios, con el fin de mejorar la trazabilidad y reducir los errores humanos. Es de resaltar que el aporte de las metodologías mencionadas anteriormente no solo son sinónimo de mayor productividad, sino que también pueden ir de la mano con la competitividad y la sostenibilidad.

La gestión de inventarios es un tema ampliamente discutido en el ámbito académico y empresarial. Estudios como los de Baldwin (2010), Hernández y Ricardo (2018), y Gómez & Guzmán (2016) han resaltado la importancia de contar con sistemas eficientes para el control y manejo de inventarios, lo que ayuda a reducir costos, mejorar la disponibilidad de productos y optimizar la toma de decisiones. Estos autores coinciden en que una correcta gestión de inventarios no solo mejora el flujo de bienes, sino que también contribuye al bienestar de los empleados y a la satisfacción de los clientes, al garantizar la disponibilidad de herramientas e insumos críticos.

El desarrollo de un sistema automatizado para la gestión de inventarios, como se plantea en este proyecto, refleja directamente los avances en la investigación científica y tecnológica. Al emplear herramientas basadas en el análisis de Pareto y la categorización ABC, se espera una reducción significativa en las ineficiencias operativas que suelen afectar a empresas como Volvo Group Colombia. Estas mejoras no solo reducen el exceso de stock y las faltas, sino que también mejoran la seguridad del personal y disminuyen los costos de almacenamiento.

Una gestión eficiente de inventarios se entiende como un factor elemental en la optimización de los procesos logísticos y operáticos en la industria automotriz. De acuerdo con estudios de Chopra y Meindl (2021) la ausencia o vacío de un control adecuado respecto a los inventarios se puede desembocar en sobre costos por almacenamiento innecesarios o en contraste, provocar desabastecimiento y retrasos en el proceso de producción. Particularmente, en el caso de Volvo Group Colombia, se identifican que la ausencia de un sistema automatizado de gestión de inventarios en su bodega de compras permite ineficiencias en la disponibilidad de las herramientas, los

insumos y los elementos de protección personal generando un impacto directo en la productividad de la empresa.

Así mismo, tanto el desarrollo como la implementación de un sistema automatizado permite optimizar la gestión de inventarios en la mejora de la precisión de los registros, mientras que se reduce el tiempo de búsqueda y asegura la disponibilidad de los insumos esenciales. El beneficio mencionado se reflejará en los indicadores clave de desempeño (KPI's) como lo son la reducción de tiempo de reposición, la minimización de pérdidas por extravío, la caducidad de los productos y la mejora de la rotación de inventarios (Christopher, 2020). Con esto, el proyecto además de beneficiar directamente a la empresa Volvo Group Colombia, igualmente a sus colaboradores quienes tendrán a disposición los elementos necesarios en forma y tiempo para llevar a cabo sus labores con una mayor eficiencia y seguridad.

A partir de una perspectiva cuantitativa, anteriores investigaciones han demostrado cómo la implementación de sistemas automatizados en la gestión de inventarios permite reducir hasta en un 30% los valores operativos con relación a la falta de control y en un 40% el tiempo relacionado a la búsqueda y registro manual de los insumos (Waters, 2019). De este modo, el actual proyecto contribuye a la mejora en la eficiencia logística en la empresa, optimizando el flujo de trabajo y minimizando la carga operativa hacia el personal encargado de la bodega de compras.

En un nivel institucional, la actual investigación se encamina a las políticas de innovación tecnológica y automatizadas promovidas por Volvo Group a nivel global; desde las cuales se busca implementar soluciones de tipo digitales que propicien la eficiencia operativa y la reducción de costos (Volvo Group, 2022). Del mismo modo, el proyecto responde a los lineamientos de tipo estratégicos de la academia con relación a la investigación aplicada, integrando conocimientos de ingeniería mecatrónica y gestión logística en función de resolver una problemática real del sector automotriz.

De manera final, el sistema de gestión automatizado además de tener implicaciones laborales y académicas puede tener un impacto positivo en la sociedad mejorando la eficiencia de la cadena de suministro y contribuyendo a la sostenibilidad del sector automotriz. Minimizar la cantidad de desperdicios y optimizar el uso de los recursos también promueve las prácticas más responsables en el sector industrial, señalado como un factor clave en la competitividad y sostenibilidad en el largo plazo (Fernández & Prieto, 2021).

2.1. IMPACTO Y BENEFICIOS.

El ser más eficiente y automatizar los sistemas de inventarios tiene un gran efecto en diferentes áreas de las empresas, haciendo que la planificación de recursos sea más ágil y mejorando la capacidad de respuesta cuando la demanda cambia. Este proceso no solo hace que todo funcione mejor por dentro, sino que también tiene un impacto positivo tanto en los empleados como en los clientes. Al implementar indicadores clave

de rendimiento (KPI's), se puede estar al tanto de cómo está funcionando el sistema, identificar en qué se puede mejorar y asegurarse de que todo esté alineado con lo que la empresa se ha propuesto lograr.

En el caso de Volvo Group Colombia, el objetivo de desarrollar e implementar un sistema automatizado de gestión de inventarios es precisamente hacer que las operaciones sean más eficientes, asegurar que los materiales clave estén siempre disponibles y mejorar la seguridad para los trabajadores. Estos beneficios se reflejan en una mayor productividad y en una mejor calidad del servicio que se ofrece a los clientes, ya que se reducen los tiempos muertos y se garantiza la continuidad de las operaciones. Con la automatización, Volvo Group Colombia podrá mantener un control más exacto de su inventario, lo que evitará tanto el exceso de stock como la falta de productos críticos. Esto, a su vez, reducirá notablemente los costos operativos y mejorará la satisfacción del cliente.

Este proyecto no solo tiene un impacto dentro de la empresa, al mejorar su competitividad y la calidad de sus productos y servicios, sino que también beneficia a los empleados, asegurando que siempre tengan los materiales y herramientas que necesitan cuando los necesitan, lo que aumenta su satisfacción en el trabajo. Al aplicar estos resultados en el mundo real, se transforma la forma en que se maneja la cadena de suministro dentro de la empresa, proporcionando una ventaja competitiva clave en el mercado. Además, las prácticas automatizadas que se introducen con este proyecto pueden ser replicadas y adaptadas en otras áreas de la empresa y en otras compañías que enfrentan desafíos similares, lo que amplía el alcance y la relevancia de esta investigación.

Con el sistema automatizado, se reducirá en gran medida la dependencia de procesos manuales, lo que minimizará los errores humanos que muchas veces resultan en desajustes de inventario, sobrecostos y retrasos en las operaciones. Aunque estos errores puedan parecer pequeños día a día, tienden a acumularse, creando ineficiencias que afectan la productividad general y la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos y expectativas de los clientes. Al asegurar una mayor precisión en la gestión de inventarios, la automatización mejora directamente la eficiencia operativa, permitiendo a la empresa operar con más rapidez y flexibilidad.

Además, la automatización de inventarios abre la posibilidad de integrar nuevas tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de datos en tiempo real. Estas tecnologías no solo optimizan la gestión del inventario al ofrecer información actualizada sobre la disponibilidad de productos, sino que también facilitan la toma de decisiones bien informadas basadas en datos precisos. La capacidad de anticiparse y reaccionar rápidamente a los cambios en la demanda se convierte en una ventaja competitiva clave, especialmente en un mercado tan dinámico y en constante cambio como el actual.

Otro punto importante es el impacto positivo que una gestión de inventarios más eficiente puede tener en el medio ambiente. Al reducir el exceso de inventario y optimizar

el uso de los recursos, Volvo Group Colombia no solo baja sus costos operativos, sino que también genera menos desperdicios, lo cual va de la mano con los objetivos de sostenibilidad que la empresa promueve a nivel global. Un manejo de inventarios más preciso y ajustado a la demanda real también disminuye la necesidad de transporte y almacenamiento excesivo, lo que reduce las emisiones de carbono asociadas.

Finalmente, la implementación de un sistema automatizado de inventarios sienta una base sólida para seguir mejorando las operaciones con el tiempo. A medida que la empresa acumule datos y experiencia con el nuevo sistema, será posible identificar más áreas donde se puede optimizar, como mejorar las políticas de rotación de inventarios, manejar mejor la obsolescencia y aplicar prácticas de compra más eficientes. Este enfoque de mejora continua no solo asegura que el sistema siga siendo útil y efectivo con el tiempo, sino que también permite a Volvo Group Colombia adaptarse de manera proactiva a los cambios en el mercado y en las necesidades de sus operaciones.

2.2. RELEVANCIA PARA LAS POLÍTICAS INSTITUCIONALES Y LA SOCIEDAD.

Desde una perspectiva institucional, este proyecto para automatizar y mejorar la gestión de inventarios en Volvo Group Colombia juega un papel clave en el logro de la misión y visión de la empresa, que busca ser el proveedor más exitoso y deseado de soluciones de transporte e infraestructura a nivel mundial. Al hacer más eficientes y confiables las operaciones, este proyecto no solo refuerza las políticas corporativas de sostenibilidad y excelencia, sino que también se alinea con los principios de innovación, mejora continua y seguridad que son pilares fundamentales para la compañía.

Este proyecto va más allá de los beneficios inmediatos en términos operativos, ya que también representa un ejemplo valioso tanto en el ámbito académico como en el profesional. Para quienes estudian carreras como ingeniería, administración o logística, ver cómo metodologías avanzadas, como el análisis de Pareto, la clasificación ABC y la suite de Microsoft, se aplican de manera efectiva en un entorno empresarial real, ofrece un aprendizaje práctico que demuestra cómo la teoría se traduce en soluciones concretas para problemas complejos. Este tipo de conocimiento es de gran valor para los futuros profesionales que enfrentarán retos similares en sus respectivas áreas de trabajo.

El impacto de este proyecto en la sociedad también es significativo. Al hacer más eficientes las operaciones de Volvo Group Colombia, no solo se reducen costos, sino que se mejora la capacidad de respuesta y el servicio de la empresa, lo cual beneficia tanto a los clientes como a los proveedores locales. Además, el enfoque en mejorar la seguridad y reducir los riesgos laborales subraya el compromiso de la empresa con el bienestar de sus empleados, contribuyendo a la creación de una sociedad más justa y sostenible. En conjunto, este proyecto no solo fortalece la posición competitiva de Volvo Group, sino que también apoya sus políticas de responsabilidad social y sostenibilidad, en línea con los valores fundamentales de la empresa y su visión a largo plazo.

Para los profesionales involucrados, este proyecto es sumamente relevante en su desarrollo. La automatización en la gestión de inventarios es una habilidad cada vez más demandada en logística y operaciones. Participar en un proyecto como este permite adquirir conocimientos avanzados en tecnología aplicada, mejora de procesos y análisis de datos, competencias que son esenciales hoy en día para optimizar recursos y tomar decisiones estratégicas.

Para la universidad, este proyecto representa una oportunidad de oro para contribuir al avance del conocimiento en áreas como la gestión empresarial y la automatización de procesos. Los resultados y aprendizajes que se deriven de este trabajo pueden ser aplicados en otros contextos académicos, beneficiando tanto a la investigación como a la formación de futuros profesionales en campos como la ingeniería industrial y mecatrónica, la logística y la administración de empresas.

En un sentido más amplio, este proyecto tiene el potencial de causar un impacto positivo en la sociedad. Al optimizar los recursos dentro de las empresas, se mejora la eficiencia en la producción y distribución de bienes, lo que se traduce en un mejor servicio para los consumidores finales. Además, la reducción de costos y la mejora en la seguridad laboral son factores que fortalecen el bienestar social y contribuyen a la sostenibilidad y competitividad del entorno empresarial.

En definitiva, este proyecto se justifica por su capacidad para transformar positivamente las operaciones de Volvo Group Colombia a través de la automatización y optimización de la gestión de inventarios. Los resultados esperados no solo benefician a la empresa, sino que también tienen un impacto significativo en las políticas institucionales, en la formación de futuros profesionales y en la sociedad en general. Este proyecto es un ejemplo claro de cómo el conocimiento científico y técnico puede aplicarse de manera efectiva para resolver problemas prácticos, generando beneficios que van más allá de los límites de la empresa.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema automatizado de gestión de inventarios para la bodega de compras de Volvo Group Colombia, centrado en la creación de una interfaz por medio de Python que permita el análisis y control del inventario, asegurando la disponibilidad de herramientas e insumos mediante la integración de técnicas de clasificación, monitoreo en tiempo real e inteligencia artificial.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar las herramientas, equipos de protección personal (EPP) y otros insumos, aplicando la técnica de inventarios ABC, de forma que se conozca su nivel de importancia, asegurando así su disponibilidad.
- Implementar un modelo de Machine Learning para predecir la demanda de los diferentes insumos, analizando el mismo patrón histórico de consumo, optimizando la gestión de inventarios y evitando el desabastecimiento.
- Diseñar una interfaz gráfica en Python, permitiendo una visualización y comparación del análisis ABC tradicional con los resultados obtenidos por el modelo de machine Learning, para apoyar la toma de decisiones de los analistas de compras.
- Establecer indicadores de desempeño (KPI's) desarrollando métricas personalizadas que permitan el monitoreo y el control de inventarios de manera efectiva y en tiempo real.

4. ALCANCES Y LIMITACIONES

4.1. ALCANCES

- La interfaz gráfica propuesta permite cargar y ejecutar el modelo ABC por rotación, así como visualizar los resultados del análisis, también permite realizar pronósticos de demanda con cuatro modelos de ML (Regresión Lineal, Árboles de Decisión, Random Forest y XGBoost), y al igual que al ABC se pueden exportar los resultados.
- La interfaz ofrece una salida de datos que posibilita la comparación de ambas metodologías de manera implícita que permiten apoyar la toma de decisiones en la gestión del departamento de compras.
- El sistema está abierto a integrar diferentes tipos de productos, su adopción es flexible siempre y cuando esté disponible información histórica de consumo, valores de compra y fechas en las que se ejecutó la compra. De esta forma puede adoptarse la solución a los diferentes concesionarios de Volvo Group LATAM contribuyendo en el pilar de calidad en la estandarización de procesos en la región.
- También permite hacer ajustes de parámetros, por ejemplo, criterios de clasificación del modelo ABC y variables del modelo predictivo, que pueden ser variables dependiendo el escenario real que se quiera automatizar.
- El sistema permite calcular métricas de desempeño para a el caso de los pronósticos de demanda, en caso de querer evaluar el desempeño de la solución final también se sugieren una serie de KPI's y PI's, de este modo se pueden cuantificar los beneficios, en términos de precisión, operatividad, disponibilidad, etc.
- La solución final se diseñó para que sea usada por los diferentes roles del área de compras, tanto el perfil operativo, como el perfil administrativo, mencionar que estos roles no requieren ninguna interacción con la programación.

4.2. LIMITACIONES

- El desarrollo de este no incluyo variables externas (solicitudes y órdenes de compra, cambios en la política de compras, cambios en las responsabilidades y funciones de la operación, entre otras), que de forma indirecta pueden mejorar la precisión gestión de inventarios.
- Se obtienen predicciones de demanda de acuerdo con las variables dadas en el modelo, sin embargo, para ningún modelo se entrega una explicación o

retroalimentación de su ejecución, esto puede dificultar la interpretación de los resultados.

- Los modelos de predicción de demanda y el análisis ABC dependen del histórico de datos, de forma que para un resultado se depende fuertemente de la calidad y cantidad de datos, de contar con series incompletas valores atípicos se afectan la precisión de los resultados.
- El pronóstico de demanda solamente se da para el mes siguiente, no abarca periodos mayores, quizás trimestres o semestres, esto puede limitar la planeación estratégica de mediano y largo plazo, sin embargo, se da de acuerdo con los periodos financieros de presupuesto y este es un punto a favor.
- Cuando el propósito sea distinto a la bodega de compras de VGC, se debe evaluar el desempeño de los resultados, dado el entrenamiento de ellos modelos de ML se dieron para esta situación específica, acá lo importante es definir el reentrenamiento adecuado.
- En cuanto a la interfaz diseñada para el desarrollo de la propuesta, no integra ninguna información al ERP (Zeus), por lo cual el cargue de los informes, Queries o información se debe hacer de forma manual, que en este caso viene dado desde el código.
- La propuesta no contempla un módulo de cargue masivo de información, esto para el primer inventario o primera interacción, por lo tanto, se debe cumplir el proceso normal de creación y registro dentro de la aplicación, lo que en primera instancia puede generar un esfuerzo operativo.

En resumen los alcances y limitaciones de la propuesta para el sistema automatizado, muestran el potencial de la solución con el fin de optimizar el proceso logístico del área de compras en VGC, así como se evidencian limitantes que se convierten en oportunidades de mejora y posteriores versiones de la solución, es importante mencionar que pueden ser abordadas desde investigaciones, prácticas o desarrollos futuros, ahora bien en los alcances se muestra la flexibilidad, aplicabilidad y beneficios que pueden ser aprovechados al querer integrar más variables, parámetros o condiciones de desempeño

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. ESTADO DEL ARTE

En el contexto actual de gestión empresarial, la eficiencia operativa y la optimización de recursos son cruciales para mantener la competitividad (Hernández & Ricardo, 2018). Dentro de este marco, la gestión de inventarios emerge como un elemento fundamental para asegurar la disponibilidad de productos y minimizar costos asociados al almacenamiento y la obsolescencia (Baldwin, 2010). En los siguientes párrafos se presentarán los antecedentes relevantes en la literatura.

Así, Gómez & Guzmán (2016) en su trabajo titulado “Desarrollo de un sistema de inventarios para el control de materiales, equipos y herramientas dentro de la empresa de construcción ingeniería sólida LTDA”, aborda la problemática de la empresa Ingeniería Sólida Ltda., que comparte con muchas compañías de la construcción, de no contar con sistemas de inventarios eficientes y homogéneos en todos sus proyectos. Para establecer las mejores prácticas en esta área, se realizó una revisión bibliográfica sobre el contexto de la construcción en Colombia, gestión de inventarios, stock, sistema ABC y manejo de almacenes.

Basado en las bases teóricas, observaciones en almacenes de obra, y encuestas a residentes y almacenistas, se diagnosticaron los aspectos negativos de la gestión de inventarios. A partir de esto, se propusieron acciones para mejorar el control interno, supervisar el sistema, y validar los procesos mediante indicadores de gestión. La implementación del nuevo sistema y la capacitación del personal permitió un progreso notable en la gestión de inventarios de Ingeniería Sólida Ltda. (Gómez & Guzmán, 2016).

De manera similar, Castro et al., (2020), en su investigación titulada “Automatización del proceso de tomas de inventarios a través de handhelds para la empresa RETAIL S.A”, aborda la implementación de un sistema automatizado para la toma de inventarios en la empresa Retail S.A., dedicada a la comercialización de productos de papelería, suministros de oficina, tecnología, arte y artículos varios para el hogar. La empresa enfrenta problemas significativos en el control de inventarios que han generado pérdidas cuantiosas. El proyecto busca aumentar la productividad, minimizar errores de digitación, ahorrar tiempo, controlar el riesgo de pérdidas, reducir costos operativos, registrar diferencias de saldos en tiempo real, permitir muestreos periódicos, obtener información portable y en línea, evaluar la información virtual con el stock físico, y fomentar una cultura de responsabilidad en el control de inventarios entre los empleados. Para solucionar estos problemas, se propuso desarrollar una aplicación utilizando dispositivos móviles que facilite la toma de inventarios de manera más eficiente y precisa.

Asimismo, Ocampo (2016), en su trabajo de grado, “Sistema de gestión de compras, inventario y ventas para la empresa TECNO PC SYSTEM” busco desarrollar y mejorar el sistema de compras, inventario y ventas de la empresa Tecno PC System

mediante una aplicación que gestione, controle e informe en tiempo real sobre estos aspectos. La aplicación generó informes estadísticos diarios y envió notificaciones por correo electrónico cuando el stock de un producto estaba bajo, además de alertar a los distribuidores cuando un producto se agotaba. El objetivo fue crear un entorno laboral fluido, optimizando costos y beneficios.

Por último, Gélvez (2019), desarrolló un proyecto en el que se identificaron los problemas en el sistema de inventarios de la empresa Acciones&Servicios, revelados a través de un diagnóstico y reconocimiento de sus procesos. Se recolectaron datos y se observaron diversas situaciones problemáticas, realizando análisis y estudios detallados, que mostraron fallas, pérdidas de dinero y demoras en distintas tareas. Las causas identificadas incluyen la falta de conocimiento del número real de dotación e implementos que ingresan a la empresa, la cantidad y referencia de lo entregado a los colaboradores, y la fecha de estas entregas e ingresos. Como solución, se propuso diseñar e implementar un modelo de gestión de inventarios para mejorar el control. Este sistema, diseñado con Excel, permitió conocer las entradas y salidas de implementos con sus respectivas fechas, agilizando procesos. Además, con la ayuda de un modelo EOQ, se permitió planificar detalladamente los pedidos futuros, incluyendo la cantidad máxima a pedir, la frecuencia anual y los costos totales. La implementación del sistema de inventarios resultó en una gran mejora en el control de inventarios de la empresa. El autor recomienda registrar cada artículo que llegue en el modelo de inventario para mantener los datos actualizados y usar el modelo EOQ antes de cada pedido para evitar costos mayores o faltantes de inventarios.

La revisión de la literatura también destaca la importancia de la gestión de inventarios como un componente esencial para la eficiencia operativa y la competitividad empresarial. Los estudios de Gómez y Guzmán (2016), Castro et al. (2020), Ocampo (2016), y Gélvez (2019) ilustran diversos enfoques y soluciones implementadas para mejorar la gestión de inventarios en diferentes contextos empresariales. Desde la mejora de sistemas manuales en empresas de construcción y retail, hasta la automatización de procesos y el desarrollo de aplicaciones específicas, estas investigaciones subrayan la necesidad de sistemas de inventarios eficientes para reducir costos, minimizar errores y optimizar recursos. La implementación de estas soluciones ha demostrado mejoras significativas en el control de inventarios, resaltando la importancia de la actualización continua de datos y la planificación estratégica mediante modelos como el EOQ.

Ahora bien, existen predicciones de demanda implementadas en la línea de inventarios, con el uso de algoritmos de Machine Learning como Random Forest, que de acuerdo con lo que menciona Bertsimas y Kallus (2014), esta metodología ha permitido avanzar en los modelos de predictivos presentando un enfoque que involucra tanto árboles de decisión aleatorios con una optimización estocástica para mejorar la toma de decisiones, adicional a ello se sustenta una mejora del 88% en su coeficiente de prescripción en comparación con los modelos tradicionales. No obstante, también diferentes autores han evaluado algoritmos de soporte vectorial y redes neuronales, los cuales presentan menor interpretabilidad en comparación con Random Forest (Zhang et

al., 2014). Por ello la adaptabilidad em compañías ha mostrado precisión con facilidad de interpretación de resultados.

De forma teórica Random Forest, es un algoritmo propuesto por Breiman (2001), que ha sido estudiado por diferentes autores, esto se debe a su robustez en ejercicios de regresión y diferentes clasificaciones de gran número de variables. En una revisión realizada por Biau y Scornet (2015) se destaca por razonar el algoritmo como escalable, adaptable y con un grado de importancia en la estimación de variables explicativas, que son clave para interpretar los resultados de la gestión.

En el ámbito logístico, la literatura permite predecir con alta precisión la rotación de inventarios en sectores como retail y automotriz (Ali et al., 2018) ha demostrado que reduce los niveles de sobre stock y las rupturas de stock de acuerdo con patrones de consumo no lineales.

En conclusión, se reconoce que la literatura existente muestra avances significativos en metodologías aplicadas al control, clasificación y predicción aplicadas a la gestión de inventarios, ahora bien, es importante reconocer que existe una brecha con la integración de diferentes métodos para que se obtengan resultados eficientes, confiables y sostenibles, ahora bien, en el desarrollo del documento presenta una oportunidad de articulación de un modelo tradicional ABC y machine Learning, generando una propuesta que responde a la necesidad operativa de la bodega de compras de VGC, que a su vez fortalece la logística a nivel competitivo en la industria.

5.2. MARCO HISTÓRICO

En este apartado, se explorará el desarrollo histórico del concepto de inventario, desde sus raíces en las primeras sociedades hasta su evolución como componente crucial en la gestión empresarial moderna. El concepto de inventario se origina junto con la propiedad privada, remontándose a las primeras sociedades, donde se almacenaban y acumulaban bienes como alimentos, granos, animales y sus subproductos. La gestión de inventarios ha evolucionado con el tiempo, desarrollándose diversas teorías y técnicas históricas. Desde tiempos antiguos, los egipcios y otros pueblos solían almacenar grandes cantidades de alimentos para ser utilizados durante sequías o calamidades, lo que originó la problemática de los inventarios como una forma de enfrentar la escasez y asegurar la subsistencia y el desarrollo de sus actividades. Esta práctica motivó la existencia de inventarios, esenciales para la supervivencia (Pulla, 2020).

Es crucial entender que el concepto de inventario es muy antiguo y ha evolucionado a lo largo de la historia. Aunque no se utilizaba esta terminología, libros tan antiguos como la Biblia mencionan la necesidad de almacenar grandes cantidades de alimentos, como el trigo, para protegerse de periodos de hambre y sequía (Apunte & Rodríguez, 2016). Hasta principios del siglo pasado, la gestión de inventarios se limitaba principalmente a un enfoque contable básico, centrado en registrar entradas y salidas para detectar pérdidas debido a malos manejos. Sin embargo, con el desarrollo de

nuevas técnicas financieras, la administración de inventarios comenzó a jugar un papel crucial en el análisis económico de las empresas. Este cambio se vio impulsado por la rápida expansión de la industria estadounidense tras la disminución de la producción en Europa durante la Primera Guerra Mundial entre 1914 y 1918 (Salas et al., 2017).

La recuperación posterior a la guerra en la producción europea creó un exceso de productos que no podían comercializarse en el mercado europeo, afectando a la industria estadounidense. Este contexto impulsó el desarrollo de nuevas técnicas de administración de inventarios, aprovechando también los avances en computación que surgieron originalmente con aplicaciones militares durante la Segunda Guerra Mundial y se expandieron al ámbito civil en la posguerra. Con el tiempo, estas herramientas transformaron la gestión de inventarios en empresas de diversos sectores (Navarrete & Gutiérrez, 2017).

En la década de los 70, era esencial mantener un inventario suficiente para no detener ningún proceso ni agotar un producto terminado. Los altos márgenes de rentabilidad justificaban tener niveles elevados de inventarios, principalmente debido a los altos índices de inflación y a las restricciones en las importaciones (Apunte & Rodríguez, 2016).

Hacia la década de los 80, surgió la necesidad de mantener inventarios adecuados y dinámicos, introduciendo conceptos como el movimiento de inventarios y la consideración de índices clave para la toma de decisiones, como la rotación de inventarios. Esto implicaba comprender cuánto tiempo tardaría un stock en convertirse en efectivo y con qué frecuencia ocurriría este proceso. No obstante, en los años 90, se observó un significativo aumento en los niveles de inventarios de las empresas, facilitando las compras, pero resultando en bajos índices de rotación. Este fenómeno llevó a un problema extendido que muchas organizaciones enfrentan hoy en día: el exceso de inventarios (Manzo et al., 2017).

Durante las últimas décadas del siglo XX, el desarrollo de los sistemas y luego los ERP, permitió una integración entre logística o la gestión de inventarios y las demás áreas estratégicas que se involucran con esta por medio de los primeros Enterprise Resource Planning (ERP). (Jacobs & Weston, 2007; Klaus, Rosemann & Gable, 2000). Estos sistemas han marcado un cambio en la digitalización de los procesos logísticos, como se mencionaba previamente se apertura la integración con áreas internas, por ejemplo, producción, finanzas y compras, y aunque sus inicios fueron limitados, sentaron las bases para entrar a la etapa de la transformación digital en la gestión empresarial. (Davenport, 2016; Muscatello & Chen, 2019).

El estudio del inventario revela una evolución significativa desde sus orígenes como una necesidad básica de subsistencia hasta convertirse en un componente estratégico del análisis económico y la gestión empresarial. A lo largo de la historia, ha pasado de un simple registro contable a un área de estudio que integra diversas disciplinas y técnicas para optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia operativa. La gestión moderna de inventarios enfrenta desafíos como el equilibrio entre mantener

niveles adecuados y evitar el exceso de stock, reflejando la continua adaptación a las dinámicas económicas y tecnológicas globales (Díaz & Ortiz, 2018).

Con la llegada del siglo XXI, los ERP evolucionaron a plataformas conectadas y flexibles con involucramiento de Business Intelligence (BI) y Big Data, esto como argumento de la toma de decisiones estratégicas para los comités ejecutivos. El auge de la extracción, transformación y cargue de información aplicada a la logística y orientada a la integración de sensores, internet de las cosas, incluso sistema de análisis predictivos da apertura a una gestión precisa de la cadena de suministros (Aamer & Sawant, 2021; Wamba et al., 2017). Estas herramientas no solo fortalecieron la operatividad, sino que incurrió en la adaptación de las compañías a entornos dinámicos y de mejora continua.

En la actualidad, la gestión de inventarios se ha visto favorecida por la incorporación de la inteligencia artificial y el machine Learning, este tipo de tecnologías superan la capacidad de los ERP y el BI, Pues el uso de la IA y el ML da apertura a la predicción de la demanda, clasificación de productos mediante Random Forest o Redes neuronales, ocasionando optimización en la disponibilidad de insumos críticos, reducción de costos mejora en la sostenibilidad operativa. Estos avances transformaron la IA como un pilar en la gestión de inventarios moderna, alineada con enfoques de digitalización y competitividad global (Baryannis et al., 2019; Hazen et al., 2016).

5.3. MARCO TEÓRICO Y/O TÉCNICO

El presente marco teórico proporciona una base conceptual sólida para la investigación sobre la automatización e implementación de la metodología de inventarios en la bodega de compras de Volvo Group Colombia. En este capítulo, se explorarán diversas teorías y modelos relevantes de gestión de inventarios.

5.3.1 Teorías de Gestión de Inventarios

Modelo EOQ (Cantidad Económica de Pedido)

El Modelo de Wilson, también conocido como EOQ (Economic Order Quantity) en inglés y CEP (Cantidad Económica de Pedido) en español, es una metodología ampliamente utilizada en la gestión de inventarios para minimizar los costos en almacenes y bodegas. Este modelo fue popularizado por R.H. Wilson en 1934, aunque su desarrollo original se atribuye a Ford Whitman Harris durante su trabajo en Westinghouse Corporation (Piñero et al., 2019).

Este enfoque se centra en determinar la cantidad óptima de cada pedido de producto o materia prima, con el objetivo de reducir los costos totales de inventario. Su aplicabilidad se extiende a cualquier producto donde se pueda calcular los costos de pedido y almacenamiento de manera precisa. El método se fundamenta en supuestos como la demanda constante e independiente a lo largo del año (Gallardo, 2019).

Just inTime (JIT)

El sistema de inventario Justo a Tiempo (JIT, por sus siglas en inglés) es una estrategia de gestión que sincroniza los pedidos de materia prima directamente con los horarios de producción. Las empresas utilizan esta estrategia para aumentar la eficiencia y reducir el desperdicio al recibir bienes sólo cuando los necesitan para el proceso de producción, lo que disminuye los costos de inventario. Este método requiere que los productores pronostiquen con precisión la demanda (Lai & Cheng, 2016).

El sistema JIT minimiza los costos de inventario porque los fabricantes reciben materiales y partes según las necesidades de producción, evitando así costos de almacenamiento y la posibilidad de tener inventario no deseado si se cancela un pedido o no se cumple. El sistema JIT contrasta con las estrategias de "por si acaso", donde los productores mantienen inventarios suficientes para absorber la demanda máxima del mercado. Aunque el JIT ofrece ventajas como la reducción de costos y la eficiencia mejorada, también enfrenta desafíos potenciales como interrupciones en la cadena de suministro que podrían detener la producción si un proveedor de materias primas experimenta una falla (Lai & Cheng, 2016).

Análisis ABC

El análisis ABC es una técnica esencial en la gestión de inventarios que clasifica los SKU según su importancia relativa, generalmente basada en el valor de consumo. Utiliza el principio de Pareto, donde aproximadamente el 80% del valor de consumo total proviene del 20% de los SKUs. Esta clasificación permite a las empresas priorizar la gestión de los artículos más críticos (categoría A), optimizar estrategias de reabastecimiento y niveles de almacenamiento, y mejorar la eficiencia operativa al asignar recursos de manera más efectiva (Zárate & Lozada, 2020).

El análisis ABC tiene varias aplicaciones prácticas en la fabricación y gestión de inventarios. Por ejemplo, facilita la asignación de recursos según la importancia de los artículos, determina la frecuencia de recuentos de inventario y optimiza la disposición física del almacén para mejorar la eficiencia logística. Además, al focalizarse en los SKUs más importantes, ayuda a reducir costos, minimizar el riesgo de desabastecimiento y mejorar la precisión del inventario (Enríquez & Rodríguez, 2020).

Aunque el análisis ABC ofrece muchas ventajas, como una gestión más precisa y eficiente del inventario, también tiene limitaciones. Por ejemplo, su estática naturaleza puede no captar cambios rápidos en los patrones de demanda, y puede ser menos efectiva en entornos con grandes y diversos inventarios o cuando se enfrenta a fluctuaciones significativas en la demanda. Para complementar el análisis ABC, el análisis XYZ considera la incertidumbre en la demanda, categorizando los artículos en función de la estabilidad del consumo. Esto proporciona una visión más completa y ayuda a ajustar los niveles de stock de seguridad para mitigar riesgos adicionales asociados con la variabilidad en la demanda de inventario (Zárate & Lozada, 2020).

Políticas de reorden

Estas políticas permiten determinar el periodo y las cantidades a pedir para evitar faltantes, de forma que los costos de inventario sean los mínimos posibles, existe un modelo clásico el de Harris- Wilson, que plantea la cantidad económica de pedido (EOQ) como punto de equilibrio (Silver, Pyke & Peterson, 2016). Este modelo usa dos esquemas:

- Política (Q, R): Cantidad fija Q cuando el inventario llega al punto de reorden R
- Política (s, S): Reabastecer hasta el máximo S cuando el inventario baja del nivel mínimo s.

Estos dos esquemas se complementan con pronósticos y técnicas modernas que consideran la demanda y la variabilidad de la demanda. (Chopra & Meindl, 2019).

5.3.2 Modelos de Previsión de Demanda: Incluye (Mazariegos, 2018):

Previsión de tendencias

La previsión de tendencias analiza cómo cambia la demanda de productos con el tiempo. Aunque útil para detectar patrones generales, este método tiene limitaciones, como ignorar fluctuaciones y necesidades estacionales específicas como los trajes de baño. Utiliza datos detallados de ventas para predecir futuros comportamientos de compra, siendo valiosos para decisiones en marketing, compras y expansión comercial.

Previsión cualitativa

Recomendada cuando hay pocos o ningún dato histórico disponible, la previsión cualitativa se basa en la retroalimentación directa de clientes a través de grupos de discusión, entrevistas y estudios de mercado. Esta información permite desarrollar modelos de previsión adicionales para el inventario.

Previsión gráfica

Utiliza representaciones visuales como gráficos y modelos estadísticos para interpretar datos numéricos, facilitando la identificación de patrones de ventas como picos y valles. Esto acelera el entendimiento de datos para la toma de decisiones.

Previsión cuantitativa

Más confiable que la cualitativa debido a su uso de datos numéricos históricos, la previsión cuantitativa es un proceso objetivo y matemático que permite a los equipos de

ventas hacer predicciones con seguridad. Incluye métodos como el análisis de regresión, media móvil y suavizado exponencial.

Previsión por tendencia

Se basa en patrones histórico de ventas o consumos, se recomienda con datos históricos mínimo de 12 meses, y con productos de ciclo de vida largos, su uso se implementa para anticipar picos de demanda en temporadas.

5.3.3 Optimización matemática en inventarios

Programación lineal y entera mixta

La programación lineal se utiliza en situaciones donde las decisiones de inventario pueden expresarse mediante variables continuas, por ejemplo, la asignación de recursos o el establecimiento de niveles máximos y mínimos de existencias. Su valor reside en garantizar respuestas eficaces para reducir los costos totales de compra y almacenamiento, lo cual está bien documentado en la literatura de investigación de operaciones (Hillier; Lieberman, 2021). En este proyecto, esta perspectiva se vincula con el módulo de análisis y pronóstico desarrollado en Python, que permite el cálculo de tendencias y simplifica la planificación de las compras.

Por otro lado, la programación entera mixta da apertura al manejo de decisiones discretas, así como determinar cantidades de artículos en términos enteros o encender variables binarias que señalan si se debe o no hacer un pedido. En términos prácticos, este método es significativo porque muestra de manera más realista las limitaciones de los inventarios físicos (Bazaraa; Jarvis; Sherali, 2010). La relación con el código implementado se muestra en la supervisión de los movimientos y las existencias, lo que garantiza órdenes de compra factibles y coherentes con la operación.

Modelos multiobjetivo

Finalmente, en la gestión de inventarios, los modelos multiobjetivo son relevantes porque equilibran criterios contrapuestos, como garantizar la disponibilidad, reducir el riesgo de desabastecimiento y minimizar los costos. Según Moon y Wang (2018), estos modelos ofrecen soluciones efectivas en situaciones dinámicas. En este artículo, se implementan comparando escenarios de clasificación ABC y pronósticos de demanda, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas en el almacén de compras de VGC.

5.3.4 Simulación logística aplicada en inventarios

El objetivo de la simulación logística permite analizar y optimizar el comportamiento de los inventarios, tiene un enfoque con ingeniería mecatrónica desde la integración de procesos físicos de transporte y almacenamiento con herramientas de cómputo.

La simulación discreta de eventos se usa para temas de seguimiento, permite representar las llegadas de pedidos, los movimientos de cada SKU, las rupturas de stock, entre otros, ofreciendo alternativas que permitan una operación continua (Banks et al., 2010). De igual forma el modelado de flujos de almacenes permiten una identificación prematura de cuellos de botella de forma que el uso de recursos se de en función de estos, para llegar a este punto es necesario vincular algoritmos de simulación König; Huchzermeier, 2011).

Algunas de las herramientas más usadas son Arena, FlexSim, estos permiten integrar análisis de datos e inteligencia artificial, generando un aporte a la automatización y eficiencia en los inventarios (Negahban; Smith, 2014).

5.3.5 Teoría de control aplicada a inventarios

Inventario como sistema dinámico

Los inventarios pueden compararse como sistemas dinámicos, donde los niveles de inventarios varían en función de las compras y salidas ventas o consumo, esta perspectiva permite aplicar teorías de control para modelar comportamientos en frecuencias de tiempo (Serman, 2000).

Retroalimentación y controladores

Entendiendo el concepto de sistemas dinámicos, para la retroalimentación es importante mantener un equilibrio, de esta forma la información sobre los niveles de inventario va a evitar desabastecimientos y sobre stock y en ese orden de idea el emplear controladores como modelos PID (Proporcionales-integrales-derivados) permitirá reducir el error entre el inventario real y el deseado. (Ogata, 2010).

Dinámica de sistemas y efecto látigo

Ahora bien, siguiendo los sistemas dinámicos, debemos explicar el efecto látigo, que, relacionado con la gestión de inventarios, se lee como que las pequeñas variaciones en la demanda generan grandes oscilaciones en la cadena de suministro, que se pueden mitigar promedio de políticas de control y el uso de simulaciones integradas ya descritas previamente (Forrester, 1961; Disney & Towill, 2003).

5.3.6 Sistemas Automatizados de Gestión de Inventarios

Tecnologías de Identificación y Captura de Datos:

RFID

La tecnología RFID, o Identificación por Radiofrecuencia, es un sistema avanzado de identificación de productos que utiliza ondas de radio para comunicarse con microchips embebidos en etiquetas RFID, tarjetas o transpondedores. A diferencia de los códigos de barras tradicionales, las etiquetas RFID no requieren visión directa para su lectura, permitiendo una identificación instantánea y a distancia de productos y activos (Rodríguez, 2016).

Esta tecnología facilita una gestión más eficiente y segura de inventarios y activos, gracias a su capacidad para almacenar grandes cantidades de datos, su resistencia al duplicado y su capacidad de reescritura en algunas aplicaciones, prolongando así su vida útil. Los sistemas RFID se componen de etiquetas, lectores y antenas, permitiendo su implementación en diversas configuraciones logísticas, como arcos de lectura en almacenes. Esto posibilita un seguimiento en tiempo real de mercancías, optimizando procesos de gestión de stocks y mejorando la precisión en la gestión de inventarios (Rodríguez & Mora, 2017).

Además de sus aplicaciones en logística y gestión de inventarios, la tecnología RFID encuentra uso en sectores como la salud, garantizando la trazabilidad de productos sanitarios y la gestión eficiente de pacientes en hospitales. También se emplea en el control de accesos, en la industria para la automatización de procesos y en la autenticación de productos, combatiendo la falsificación en sectores críticos como el farmacéutico y el de productos de lujo (Rodríguez, 2016).

Aunque la implementación inicial puede requerir una inversión mayor comparada con los códigos de barras, las ventajas de precisión, velocidad y seguridad que ofrece la tecnología RFID la convierten en una herramienta invaluable para mejorar la eficiencia operativa y la seguridad en una amplia gama de aplicaciones industriales y comerciales (Rodríguez & Mora, 2017).

CODIGOS DE BARRAS Y LECTORES OPTICOS

Los códigos de barras funcionan como tecnología de identificación automática que utiliza un grupo de líneas paralelas y números para simbolizar los datos del producto es el código de barras. Existen dispositivos que se encargan de la lectura, son de tipo óptico, y son conocidos como lectores de códigos de barras, cuando se lee el código y convierte la señal recibida en datos digitales, estos pueden ser interpretados por un sistema informático (Martínez y Suárez, 2015).

Debido a su fiabilidad para el registro de transacciones comerciales y de inventario, su rapidez en la captura de datos y su económica implementación, este

sistema se utiliza con frecuencia. Los códigos de barras pueden ser unidimensionales (1D) o bidimensionales (2D, como el código QR); estos últimos tienen la capacidad de almacenar más información en menos espacio (Gómez, 2018).

En el ámbito de la gestión de inventarios, los lectores ópticos permiten el registro en tiempo real de las entradas y salidas de productos, reducen los errores humanos durante el registro manual y aumentan la trazabilidad de las transacciones de mercancías. Su aplicación se extiende a procesos de fabricación, laboratorios, centros de distribución y supermercados, lo que la convierte en la base de la automatización logística previa a la implementación de tecnologías más sofisticadas como IoT o RFID (Martínez & Suárez, 2015).

SENSORES IOT PARA INVENTARIOS

Los sensores del internet de las cosas aplicados a la gestión de inventarios, son elementos o dispositivos inteligentes, con capacidad de recolectar, procesar y transmitir información en tiempo real sobre la ubicación real del producto almacenado y su estado, Estos sensores pueden ser de diferente tipología, por ejemplo, que su medición sea para temperatura, humedad, movimiento, ubicación, peso, entre otros, su medición se hace mediante Bluetooth Low Energy, GPS o redes de baja potencia (LPWAN). (Hernández & Vargas, 2019).

Su incorporación en la logística permite una supervisión continua y automatizada de la mercancía, ofreciendo visibilidad en tiempo real en la cadena de suministro. Los datos que leen los sensores son enviados a módulos o plataformas en la nube, estos espacios se usan para analizar alertar, generar pronósticos y reportes de gestión. Estas contribuciones sustentan la toma de decisiones, reducen pérdidas por caducidad o condiciones no adecuadas en el almacenamiento y fortalecen la trazabilidad (Hernández, 2020).

Sus usos son reconocidos en la industria alimentaria, farmacéutica, logística y manufactura avanzada, dado son industrias que están teniendo inmersión y transformación digital adoptando un concepto de almacenes inteligentes

Sistemas ERP (Enterprise Resource Planning)

Un sistema ERP, o Enterprise Resource Planning, es un software diseñado para gestionar diversas operaciones internas de una empresa, desde producción y distribución hasta recursos humanos. Este tipo de sistema automatiza procesos empresariales clave, integrando datos de producción, compras, ventas, logística y administración para mejorar la eficiencia y reducir costos (Alvarado, 2018).

La implementación de un ERP no es trivial y presenta desafíos significativos. Entre estos, se destacan la integración de sistemas existentes, la capacitación del personal y la adaptación de procesos a las funcionalidades del ERP. Estos desafíos son abordados en profundidad por varios proyectos y documentales que ofrecen una visión realista de

las complejidades involucradas. Las ventajas principales de un ERP incluyen la centralización de la información empresarial, que combate los silos de datos departamentales, la automatización de tareas para reducir errores y mejorar la eficiencia operativa, y el acceso rápido y actualizado a la información relevante para la toma de decisiones ágiles a todos los niveles de la organización (Pérez, 2016).

Además, un ERP facilita operaciones más eficientes, la visualización en tiempo real de datos clave, y la introducción centralizada de información, lo que contribuye a una gestión empresarial más efectiva y adaptativa. A pesar de sus beneficios, las desventajas incluyen los costos y la complejidad de implementación, especialmente en comparación con sistemas locales o en la nube, cada uno con sus propias implicaciones en términos de inversión y mantenimiento (Alvarado, 2018).

Sistemas de Gestión de Almacenes (WMS)

Un sistema de gestión de almacenes (WMS) es un software crucial para las empresas, facilitando la gestión y control de las operaciones diarias de almacenamiento, desde la recepción de mercancías hasta su salida. Este sistema proporciona visibilidad en tiempo real del inventario en almacenes y en tránsito, integrando funciones como la gestión de inventario, procesos de retiro, embalaje, uso de recursos y análisis (Silva, 2018).

El entorno actual de ventas omnicanal y comercio electrónico, acelerado por la demanda de entregas rápidas y eficientes, ha aumentado la presión sobre mayoristas, proveedores logísticos tercerizados (3PL) y transportistas. La automatización y optimización que ofrece un WMS son esenciales para gestionar eficazmente mayores volúmenes de operaciones, reduciendo errores y mejorando la eficiencia operativa (Garrido, 2020).

Los beneficios clave de un sistema de WMS incluyen la mejora de la eficiencia operativa mediante la automatización de procesos, la reducción de costos y desperdicios mediante una gestión más precisa del inventario, y la visibilidad en tiempo real que facilita decisiones estratégicas como previsiones de demanda y gestión de inventario just-in-time (Silva, 2018).

A lo largo de este capítulo, se han explorado diversas teorías y modelos relevantes de gestión de inventarios, incluyendo el Modelo EOQ, el sistema Just inTime, el Análisis ABC, los Modelos de Previsión de Demanda, así como tecnologías avanzadas como la RFID y los sistemas ERP. Estos conceptos no sólo ofrecen un marco comprensivo para comprender las mejores prácticas en la gestión de inventarios, sino que también sientan las bases para la implementación eficaz de soluciones que pueden optimizar significativamente las operaciones de la bodega de compras de Volvo Group Colombia, respondiendo así a los desafíos actuales del entorno empresarial global.

Ahora bien, considerando que el desarrollo de la propuesta involucra automatización en la gestión de inventarios, se deben también explorar diferentes subtemas y elementos como lo son:

5.3.7 Inteligencia artificial y Machine Learning en Inventarios

Algoritmos de predicción de demanda

Existen algoritmos de predicción de demanda que aplican machine Learning, se usan para estimar comportamientos futuros integran variables históricas de venta, rotación de productos y/o estacionalidad, el objetivo de estos es toma de decisiones más precisas en asignación de recursos, optimización de stock y políticas de reabastecimiento.

RANDOM FOREST REGRESSOR

Random forest es un algoritmo que se basa en la combinación de varios árboles de decisión, cada uno de ellos se entrena en subconjuntos separados de datos, la predicción que este algoritmo logra lo hace al promediar los resultados de cada uno de los árboles, es usado usualmente para captar patrones no lineales de rotación, y estacionalidad de productos, a continuación, algunas de sus ventajas y desventajas

Ventajas: Robusto al ruido, evita el sobre ajuste, permite el procesamiento de datos de grandes volúmenes

Desventajas: Difícil de interpretar, el costo computacional para su ejecución puede ser alto

(Breiman, 2001; Hastie, Tibshirani & Friedman, 2017)

REDES NEURONALES (ANN)

Su funcionamiento imita la forma en que el cerebro procesa la información, las redes se componen por capas que funcionan a partir de funciones de activación para modelar aquellas relaciones no lineales, su uso se da cuando los inventarios son de alta a variabilidad y estacionalidad de la demanda

Ventajas: Alta capacidad de entrenamiento identifica patrones complejos en series temporales

Desventajas: Su entrenamiento solos se da con volúmenes altos de datos, es un método sensible al sobreajuste si no se regula

(Goodfellow, Bengio & Courville, 2016)

SUPPORT VECTOR MACHINES (SVR)

Este método busca un hiperplano en un espacio de dimensión alta, de forma que el error al momento de predecir se minimice dentro de unos márgenes de tolerancia, su aplicación se da en SKU de baja demanda o con datos limitados

Ventajas: Funciona en datos con ruido y su robustez es para data sets pequeños
Desventajas: Al igual que RFR su costo computacional es alto a medida que procesa grandes volúmenes de datos
(Smola & Schölkopf, 2004)

REGRESIÓN LINEAL

Es un modelo común, es estadístico y busca una relación lineal entre las variables independientes y la dependiente. A pesar de ser clásico, puede ser supervisado por ML, y funciona igual busca estimar una relación entre una variable dependiente y una o varias independientes, u entrenamiento también se realiza con datos históricos, y va relacionado con un aprendizaje automático, adicional a ello es un algoritmo que permite ser la base de comparación en modelos avanzados.

Ventajas: Simplicidad, fácil interpretación, bajo costo computacional
Desventajas: Limite en datos no lineales muestra sensibilidad en valores atípicos.
(Montgomery, Peck & Vining, 2012)

ARBOLES DE DECISIÓN

Segmenta sus datos en nodos que se basan en reglas de decisión de esta forma crea una forma visual para la predicción, por lo general se usa en clasificaciones simples de demanda.

Ventajas: Fácil interpretación e implementación.
Desventajas: Tendencia al sobreajuste muy detallado
(Quinlan, 1993 – Libro clásico; Hastie et al., 2017)

EXTREME GRADIENT BOOSTING (XGBOOST)

Este algoritmo entrena arboles secuenciales, que corrige error del modelo previo, es eficiente en predicciones tabulares y series de tiempo, su aplicabilidad se da con volúmenes grandes de datos históricos

Ventajas: Rápido, precisión superior, da manejo a datos faltantes
Desventajas: Mayor complejidad en parametrización
(Chen & Guestrin, 2016)

5.4. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual de esta investigación establece las bases conceptuales necesarias para comprender la automatización e implementación de metodologías de inventarios. En primer lugar, se definirán conceptos clave como inventario y gestión de inventarios, proporcionando una visión general de su importancia en la operación

eficiente de la cadena de suministro. A continuación, se explorará el concepto de sistemas automatizados, destacando sus componentes, ventajas y el papel crucial que juegan en la modernización de los procesos de gestión de inventarios. Finalmente, se analizará la integración de estos sistemas en la gestión de inventarios.

5.4.1 Inventario

Un inventario es un documento donde se registran todos los bienes tangibles y en existencia de una empresa, que pueden ser utilizados para alquiler, uso, transformación, consumo o venta. Este registro debe incluir una relación detallada que abarque también los derechos y deudas de la empresa, permitiendo comprobar qué elementos componen su patrimonio (Humberto, 2017). Existen diversos tipos de inventarios, tales como físicos, intangibles, de materias primas, de productos en proceso de fabricación, de productos terminados, de suministros de fábrica, de seguridad o reserva, de desacoplamiento, en tránsito, de ciclo, estacionales, en ductos, para la especulación, de naturaleza regular o cíclica, y de existencias obsoletas, muertas o pérdidas (Serna & Rivera, 2018).

5.4.2 Gestión de inventarios

La gestión del inventario es crucial en la cadena de suministro, abarcando desde el seguimiento de los productos desde los fabricantes hasta los almacenes y, finalmente, hasta el punto de venta. Su objetivo principal es garantizar que los productos correctos estén en el lugar adecuado y en el momento preciso. Esto requiere una visibilidad clara del inventario, saber cuándo hacer pedidos, cuánto pedir y dónde almacenar las existencias. Para garantizar una logística eficiente, es fundamental tener una vista precisa del inventario, lo que ayuda a reducir los tiempos de entrega, minimizar los desembolsos, evitar sobreventas y rebajas (Díaz-Cueva, 2020).

5.4.3 KPI

Son métricas que permiten evaluar eficiencia en cualquier proceso, para este caso la gestión de existencias dentro de la cadena de suministro, acá se pueden monitorear disponibilidad, reducir costos y garantizar la continuidad del proceso. (Bollinger & Smith, 2019)

5.4.4 SKU

Hace referencia a la unidad mínima de inventario que permite identificar de manera única un producto mediante un código estándar, la gestión eficiente de los SKUs es crucial para el control logístico y la trazabilidad de los productos que se contemplen dentro del inventario (Chopra & Meindl, 2021).

5.4.5 Patrones de consumo

Los patrones de consumo hacen referencia a tendencias con cierta recurrencia en la demanda de artículos dentro de un periodo de tiempo. Identificarlos permite hacer

ajustes a los modelos de inventario con los cuales se hace seguimiento y se puede optimizar las reposiciones de inventario o compras (Nahmias & Olsen, 2015).

5.4.6 Predicción de demanda o Forecast

El forecasting o también conocido como pronóstico de demanda consiste en el uso de modelos estadísticos y algoritmos de entrenamiento automático para anticipar necesidades futuras del inventario, para lograr esto se pueden aplicar modelos tradicionales como ARIMA o modelos avanzados que se dan a partir de Machine Learning (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

5.4.7 Sistema automatizado

Un sistema para la gestión automatizada de inventarios es una solución informática diseñada para optimizar los procesos en el almacén, agilizando los flujos de trabajo, mejorando los niveles de existencias y reduciendo los costos relacionados con el inventario. Este tipo de sistema, también conocido como sistema de inventario permanente, utiliza software para automatizar tareas como el seguimiento de inventarios, la planificación y la generación de informes. El núcleo de estos sistemas suele ser un software de gestión de inventario como MRP o ERP, con posibles integraciones adicionales (Becerra et al., 2017).

5.4.8 Integración de sistemas

La integración de sistemas consiste en conectar varios sistemas para que las diferentes áreas de la empresa trabajen conjuntamente y de manera automatizada, facilitando una mayor interacción entre herramientas digitales y plataformas tecnológicas. Este concepto abarca operaciones personalizadas, arquitectura de información específica, inteligencia de datos y otras tecnologías, variando según la organización (Salas-Navarro, et al., 2017).

La integración de sistemas es una herramienta tecnológica esencial que mejora el flujo de trabajo en las empresas, impactando positivamente en todas las áreas y en el servicio al cliente final. A pesar de la creciente transformación digital, muchas organizaciones aún tienen dudas sobre cómo llevar a cabo una integración de sistemas coherente (Cardona et al., 2018).

5.4.9 Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) se refiere a la capacidad de los sistemas informáticos para realizar tareas que normalmente requieren razonamiento humano, como la toma de decisiones, el aprendizaje, el reconocimiento de patrones y la resolución de problemas. La IA se utiliza para automatizar los procesos de clasificación, la optimización de recursos y la previsión de la demanda en el ámbito de la gestión de inventarios. Esto permite la reducción de costes y una mayor eficiencia operativa.

Russell y Norvig (2021) describen la IA como «el análisis de entidades que obtienen información del entorno y realizan acciones destinadas a aumentar su probabilidad de alcanzar un objetivo específico». Esta perspectiva está directamente relacionada con la necesidad de mejorar la gestión de insumos críticos en contextos organizacionales, donde la IA actúa como agente de toma de decisiones.

5.4.10 Machine Learning

Traducido como aprendizaje automático, es una rama de la IA que se enfoca en el desarrollo de modelos y/o algoritmos con capacidad de aprender patrones a partir de datos históricos con el fin de mejorar su desempeño en la predicción clasificación sin necesidad de una programación explícita. Lo hace a través de técnicas supervisadas, no supervisadas y de refuerzo, que permiten construir un sistema que identifica relaciones compleja y comportamientos que optimizan la toma de decisiones en diferentes contextos, en logista, es usado para la gestión de inventarios en el pronóstico de demanda y la clasificación de insumos, su aplicación lleva a un análisis predictivo y apunta a la automatización de procesos transformando volumen de información en conocimiento o bases para la toma de decisiones (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016; Bishop, 2006).

5.4.11 Interfaz

Es un medio de comunicación entre un sistema o diferentes componentes de software y hardware y uno o varios usuarios, esta permite el intercambio de información, existen diferentes tipos, por ejemplo, gráfica (GUI), basada en texto (CLI) o de programación (API), dependiendo de la naturaleza de la interacción que permite (Pressman, 2015).

5.4.12 Interfaz grafico

Medio visual e interactivo que posibilita a los usuarios comunicarse con el sistema, para este caso particular un sistema de inventarios, usualmente tienen botones, menús, tablas dinámicas, dashboards, entre otros y su propósito es facilitar la toma de decisiones, minimizar errores y mejorar continuamente la experiencia del cliente (Shneiderman, Plaisant, Cohen, Jacobs, Elmqvist & Diakopoulos, 2016).

5.4.13 Python

Lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y multiparadigma, su uso es frecuente en la ciencia de datos, desarrollo web, automatización e inteligencia artificial, su sintaxis es sencilla y clara lo que la hace accesible, por ende, sus bibliotecas y sus comunicades lo convierten en una de las herramientas más versátiles de la industria tecnológica (Van Rossum & Drake, 2009; Lutz, 2013).

5.4.14 Librería

En el ámbito de la programación, es un conjunto de funciones, clases y recursos predefinidos para que un rol de desarrollador pueda reutilizar y simplificar algunas tareas recurrentes, en Python, algunas librerías son, Pandas, Numpy o Scikit-learn, estas son algunas que permiten operaciones avanzadas en la estadística, Machine Learning y analítica de datos sin necesidad de programar desde cero (McKinney, 2017; Pedregosa et al., 2011).

5.4.15 Automatización inteligente

Consiste en integrar sistemas físicos que pueden ser sensores, actuadores y otros dispositivos con algoritmos de inteligencia artificial, a diferencia de la automatización convencional esta incorpora la capacidad de aprendizaje y adaptación, que para este caso específico permite anticipar la demanda y optimizar las decisiones en tiempo real (Davenport & Ronanki, 2018) (*artículo*).

La automatización inteligente se utiliza en el sector logístico en:

- Predicción de la demanda mediante algoritmos de aprendizaje automático.
- Control adaptativo de la rotación de inventario y políticas de reposición.
- Integración digital con sistemas ERP y WMS para la toma de decisiones automatizadas.

Por lo tanto, constituye las bases para la creación de un sistema de inventario que incluye inteligencia artificial y control mecatrónico, como se propone en este proyecto (Shukla et al., 2020) (libro).

5.5. MARCO GEOGRÁFICO

La investigación de este proyecto se desarrolla en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia específicamente en la bodega de compras de Volvo Group Colombia, donde como se mencionaba previamente es la ubicación donde se almacenan elementos de protección personal, herramienta e insumos de dotación para los colaboradores operativos de la compañía, en este espacio se centraliza la gestión de inventarios y es el núcleo para las diferentes sedes.

5.4.1 Ubicación general

Colombia se localiza en la región norte occidental de América del sur, cuenta con salida por el Mar Caribe y el océano Pacífico, esto según (ProColombia, 2023) facilita la conexión con los mercados internacionales. La capital, Bogotá D. C., se ubica sobre 2.640 MSNM en la cordillera oriental de los andes, según el (DANE, 2022) es considerado un centro económico, empresarial y logístico

Según la (aeronáutica civil, 2023) el aeropuerto internacional El Dorado es el aeropuerto de mayor movimiento en América Latina, este situado en Bogotá D.C., ciudad con un número elevado de multinacionales e infraestructura de transporte a nivel nacional. De este modo la capital tiene una ventaja competitiva por su ubicación y robustez.

5.4.2 Ubicación específica

La propuesta se desarrolla en la sede Andina Bogotá D.CM donde se encuentra la bodega de compras de VGC, este almacén funciona para todos los concesionarios a nivel nacional, de igual forma, en esta sede se cuenta con el almacén o CEDI que funciona como centro principal de distribución a nivel nacional para el caso de las sedes principales, ahora bien desde su logística se cuenta con un proveedor especializado de transporte lo que agiliza significativamente las entregas.

Por otro lado, VGC cuenta con tres sedes propias en la ciudad de Medellín, Cali y Bucaramanga, que cumplen las funciones comerciales tanto de servicio como de partes en dichas regiones, de igual forma VGC, cuenta con espacios adicionales conocidos como patios, en los cuales se prestan los mismos servicios a clientes de la línea de transporte urbano, ahora bien, la mayor parte de estos se encuentra en Bogotá con más de trece instalaciones y en la ciudad de Cali con apenas un patio

5.6. MARCO LEGAL

El marco legal de esta investigación se centra en las leyes y regulaciones que afectan la gestión de inventarios y la automatización de procesos. Se examinarán las disposiciones relevantes del Código de Comercio de Colombia y las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF), entre otras

5.5.1 Código de Comercio de Colombia

Decreto 410 de 1971

“Por el cual se expide el Código de Comercio”. Da un marco general de cumplimiento de normas para los comerciantes en Colombia. Regula aspectos relacionados con la contabilidad, inventarios y estados financieros de las empresas (Secretaría del Senado, 1971).

5.5.2 Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF)

NIIF 2 - Inventarios

Establece el tratamiento contable de los inventarios, incluyendo su reconocimiento, valoración y presentación en los estados financieros. “El objetivo de esta Norma es prescribir el tratamiento contable de los inventarios, dentro del sistema de medición del costo histórico” (NIIF, 2019).

NIIF 16 - Arrendamientos

Puede tener implicaciones para el uso de equipos y tecnologías arrendadas para la automatización “Esta Norma establece los principios para el reconocimiento, medición, presentación e información a revelar de los arrendamientos” (NIIF, 2019).

5.5.3 Ley de Protección de Datos Personales:

Ley 1581 de 2012

“Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales”. Regula el manejo y protección de datos personales, crucial al implementar sistemas automatizados que manejan información de empleados y clientes (Congreso de la República, 2012).

5.5.4 Ley de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones:

Ley 1341 de 2009

“Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones”. Regula la implementación y uso de tecnologías de la información y comunicaciones en Colombia, incluyendo aspectos de automatización y digitalización de procesos (Congreso de la República, 2009).

5.5.5 Normas ISO

ISO 9001:2015 - Sistemas de gestión de calidad

Especifica los requisitos para un sistema de gestión de calidad, relevante para la mejora continua y la eficiencia en la gestión de inventarios.

ISO 55000 - Gestión de activos

Proporciona un marco para la gestión de activos físicos, aplicable a la gestión de inventarios y automatización de procesos.

6. DISEÑO METODOLOGICO

El planteamiento de esta investigación se realiza desde una perspectiva práctica y sencilla, enfocándose en una pregunta central: ¿Cómo desarrollar un sistema automatizado para la gestión de inventarios en la bodega del área de compras de Volvo Group Colombia, que involucre Machine Learning y una interfaz gráfica desarrollada con lenguaje Python que considere la demanda de consumo y reduzca a la intervención manual de los operarios? Esta cuestión servirá como punto de partida para definir cómo se abordará la investigación, qué tipo de estudio se llevará a cabo, cómo se estructurará la metodología y qué técnicas se emplearán para recolectar la información.

6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es de carácter teórico- práctico, ya que se centra en encontrar una solución concreta para un problema que enfrenta la empresa: cómo optimizar la gestión de los inventarios automatizando las tareas en la bodega del área de compras por medio de ML.

El diseño del estudio es tanto exploratorio como descriptivo. Es exploratorio porque se pretende entender la oportunidad dado no se ha abordado en la compañía y por lo tanto su documentación es mínima, en contraste el diseño descriptivo busca detallar y caracterizar el funcionamiento actual de la bodega, sus patrones de consumo y adicional evaluar el impacto de la automatización.

6.2. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque metodológico utilizado para el desarrollo del proyecto mixto, con un diseño metodológico descriptivo y experimental para responder al planteamiento del problema con el que se busca optimizar el funcionamiento de la bodega de compras por medio de la automatización y el ML, definiendo inicialmente características importantes que permiten establecer las condiciones de control para la manipulación de variables y toma de decisiones. (Hernández Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2014)

Este enfoque permitirá analizar los datos numéricos, mismo que medirán aspectos como la demanda, prioridad y rotación de los productos.

6.3. HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES

Según Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista, P. (2014) la hipótesis es una suposición tentativa sobre la relación entre dos o más variables, esta proposición determinara lo que se debe observar y como se deben analizar los datos, ahora bien, en cuanto a la formulada para esta investigación viene dada por la

implementación de un sistema automatizado que reducirá los tiempos operativos y aumentara la precisión del inventario, así mismo los costos operativos pueden reducirse al minimizar la intervención manual y de paso los errores humanos.

Las hipótesis de trabajo incluyen:

- La implementación de un sistema automatizado basado en ML con una interfaz desarrollada en Python en la bodega reducirá significativamente los tiempos de operación y mejorará la precisión en el control de inventarios.
- La automatización disminuirá los costos operativos al reducir la dependencia en procesos manuales y minimizar los errores humanos.

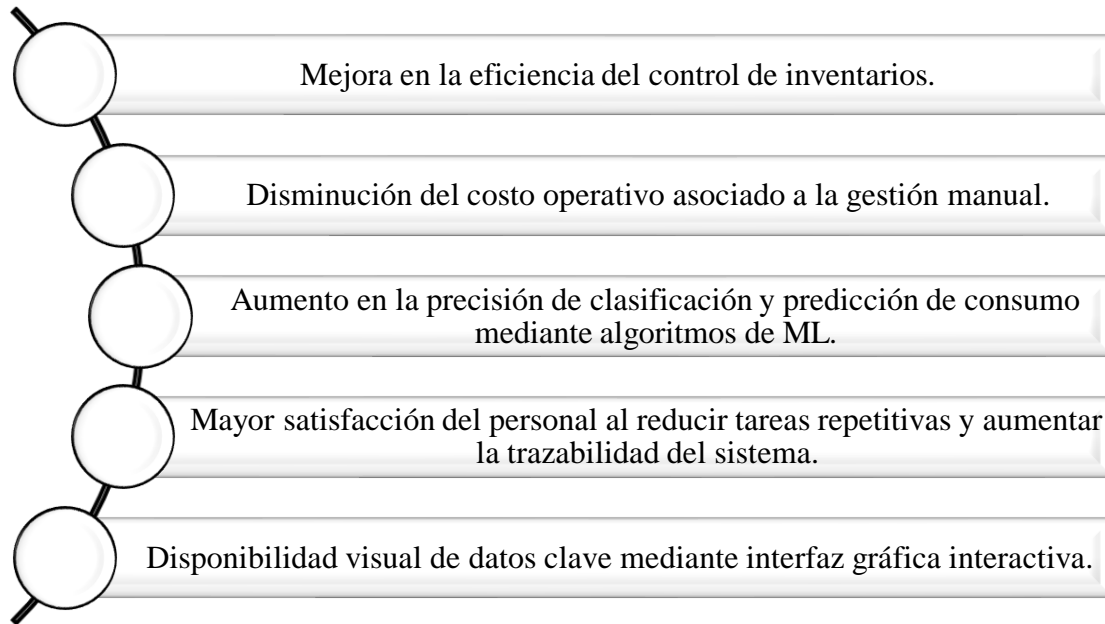
Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista, P. (2014) también mencionan que las variables independientes son aquellas que el investigador manipula para observar su efecto sobre otras variables, mientras que las dependientes son aquellas que se esperan que cambien como resultado de esta manipulación. A partir de esto se definen las siguientes variables, ver tabla 3

Tabla 3. Variables dependientes e independientes

Variable	Tipo	Justificación
Eficiencia en la gestión de inventarios	Dependiente	Indicadores como la rotación de inventarios, tiempos de reposición, y tasas de cumplimiento de órdenes.
Costo operativo	Dependiente	Gastos asociados a la gestión manual versus la automatizada.
Nivel de automatización	Independiente	Proporción de procesos automatizados respecto al total de procesos de la bodega.
Satisfacción del personal	Dependiente	Medida a través de encuestas sobre la percepción del personal antes y después de la implementación del sistema automatizado.
Demanda de productos (consumo)	Independiente	Representa los patrones históricos de consumo que son base para el modelo predictivo, sirviendo como insumo clave para la toma de decisiones automatizada.
Algoritmo de clasificación (ML)	Independiente	Constituye la herramienta tecnológica que permite procesar y categorizar los productos según su rotación y prioridad, pero no constituye una variable de resultado medible por sí misma.

Fuente propia

Imagen 1. Resultados esperados a partir de hipótesis



Fuente propia

6.4. UNIVERSO

En esta investigación, el universo que según (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P., 2014, p. 174) está constituido por el conjunto total de elementos que poseen una característica común. Es el conjunto de centros de distribución, almacenes, bodegas y centros logísticos desarrollados para áreas como compras y/o abastecimiento indirecto a las operaciones de compañías del sector automotriz.

6.5. POBLACIÓN

Ahora bien, (Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P., 2014, p. 174) define la población como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones definidas, entendido esto, se define lo siguiente para la propuesta en desarrollo:

- **Personal operativo de la bodega de compras de VGC:** 5 personas, incluyendo practicante y/o aprendiz, coordinador financiero y administrativo, gerente financiero, analista de compras y consultante de compras. Responsables del control, reposición aprobación y auditoría de la bodega.

- **Registros históricos de inventarios:** Datos correspondientes a un periodo de tiempo en específico.
 - **ERP:** Zeus es el software que se usa para gestionar las compras nacionales.

6.6. MUESTRA

La muestra es un subconjunto de elementos seleccionados de una población, que se estudia con el propósito de inferir propiedades sobre el total de esta, importante mencionar que la porción seleccionada debe ser representativa. (Tamayo y Tamayo, 2009, p. 142).

Teniendo en cuenta esto la muestra seleccionada en cuanto a los registros históricos de inventario corresponde a los doce meses de periodo de práctica, data con la que se van a ejecutar los diferentes modelos de ML y metodología de inventarios, el grupo de colaboradores asignados directamente al funcionamiento de la bodega (3 personas) en específico, practicante universitario, analista de compras y coordinador financiero.

Se menciona que esta muestra escogida se hizo de forma intencional, debido a la accesibilidad de los informes, la importancia de cada rol y la vinculación con la operación.

6.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recopilación de datos, se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

6.7.1 Análisis documental

Se revisarán los registros históricos de inventarios, reportes de compras, y otros documentos internos para obtener datos cuantitativos sobre la rotación de inventarios y la frecuencia de uso de productos. Esta tipología de análisis contribuirá la caracterización de los tipos de inventarios aplicables en la industria automotriz, en coherencia con el primer objetivo específico definido.

De igual forma para hacer la caracterización se pretende realizar una revisión bibliográfica que permita ejecutar una técnica de inventarios adecuada con la operación.

Adicionalmente, se implementará la técnica de clasificación ABC con la intención de segmentar herramientas, equipos de protección personal (EPP) y otros insumos, pudiendo asegurar la disponibilidad y optimización en el almacén. Desde esta metodología se identificarán los productos críticos y priorizando la gestión, respondiendo así al segundo objetivo específico.

Se establecerá métricas claves como la tasa de rotación de inventarios, precisión del inventario, nivel de servicio y tiempo de reposición, el con objetivo de monitorear y

mejorar la eficiencia del control de inventarios. El señalamiento de estos KPI's se orienta a cumplir el cuarto objetivo específico dejando a disposición herramientas para la gestión basadas en datos.

6.7.2 Observación no participante

Se observarán las operaciones diarias de la bodega para identificar ineficiencias en los procesos manuales y mapear el flujo de trabajo.

6.7.3 Fuentes de información incluirán

Internas

Reportes de inventarios, registros de compras, y documentación del proyecto actual.

Externas

Estudios previos sobre automatización en inventarios y teorías de gestión de la cadena de suministro. (Revisión literaria)

6.8. MODELOS DE GESTIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN

6.8.1 Gestión tradicional

Para dar apertura al proyecto, y que de forma organizada se pueda realizar un seguimiento a las actividades se empleó el diagrama de Gantt, distribuyendo las diferentes actividades en dos cronogramas, cada uno con un enfoque académico distinto, el primero asociado a ingeniería industrial mientras que el segundo con un enfoque de ingeniería mecatrónica, considerándose que fueron dos periodos distintos de práctica en el que el proyecto se desarrollo de manera progresiva.

Los dos cronogramas cuentan con una particularidad y es que cuentan con una estructura sencilla que es Planeación, Ejecución, Socialización y Evaluación, de esta forma en el desarrollo de proyecto se logra mantener un orden lógico, una secuencia de actividades, una gestión del tiempo y un múltiple avance cuando así lo permite

6.8.2 Metodologías ágiles

Ahora bien, complementando la gestión tradicional, dentro del cronograma se utilizaron diferentes actividades de metodologías ágiles, específicamente scrum y Kanban, se trabajó historias de usuario, reuniones periódicas de revisión, tableros Kanban para que de forma visual se diera un seguimiento al avance de tareas, actividades y/o posibles apoyos externos.

Estos modelos permiten una mayor flexibilidad con el día a día de la operación u adicional son metodologías adaptables a los cambios pues depende del avance del proyecto y el progreso

6.8.3 Integración con la investigación

La combinación de modelos de gestión tradicionales y ágiles permitió priorizar las actividades y optimizar el tiempo y los recursos, además de fortalecer la comunicación con las partes interesadas, lo que resultó en la finalización oportuna de los proyectos y la identificación y solución de oportunidades de mejora en plazos muy breves.

7. RESULTADOS

Las matrices de decisión se usan como parte de herramienta, metodología para evaluar y comparar diferentes alternativas sobre el desarrollo de un sistema, estas matrices permiten la tomade decisiones argumentadas con criterios previamente definidos, e esta forma se reduce la subjetividad en la elección de herramientas. En este proyecto se definieron algunos criterios necesarios para el desarrollo de este a continuación se enlistan.

- Criterio 1 - Lenguaje: Que sea de fácil implementación, con amplia documentación y adicional permita empalme con Machine Learning.
- Criterio 2 - Programa: Integración con bases de datos en Excel y librerías graficas.
- Criterio 3 - Modelos: Precisión y facilidad de entrenamiento con datos históricos.
- Criterio 4 - Interfaz: Accesibilidad a los analistas y operadores de compras.
- Criterio 5 - Librerías: De código abierto y compatibles con métodos de predicción de demanda.

A partir de establecer los criterios se construyeron matrices de decisión que camparan las diferentes opciones acá se priorizo la pertinencia de cada herramienta con los posibles entregables que se pretendían tener, la evaluación fue cualitativa y no con escala numérica, sin embargo, es transparente y se alinea con los objetivos

Tabla 4. Criterio 1 - Lenguaje

Criterio 1	Python	R	Java	MATLAB
Facilidad de implementación	Sí	Parcial	Parcial	Sí
Documentación y comunidad	Sí	Sí	Sí	Sí
Empalme con Machine Learning	Sí	Sí	Sí	Sí
Costo / Accesibilidad	Sí	Sí	Sí	No
Integración con bases de datos	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente propia

Python fue seleccionado por su facilidad de implementación, su uso es gratuito, además es un lenguaje que es compatible con librerías de Machine Learning, de igual

forma, es usado para análisis de datos y predicciones de demanda (Pedregosa et al., 2011).

Tabla 5. Criterio 2 - Programa

Criterio 2	Python (local)	Web (Django/Flask)	MATLAB GUI
Integración con Excel	Sí	Sí	Sí
Manejo de librerías gráficas	Sí	Sí	Sí
Accesibilidad de los analistas	Sí	No	No
Costo / Disponibilidad	Sí	Sí	No

Fuente propia

Se escogió interfaz local con Tkinter, dado permite ejecutables accesibles, sin hacer uso de servidores web ni adquisición de licencias, de igual forma este permite facilidad de uso (Lutz, 2013).

Tabla 6. Criterio 3 - Modelos de predicción

Criterio 3	Regresión Lineal	Random Forest	XGBoost
Precisión	Parcial	Sí	Sí
Facilidad de entrenamiento	Sí	Parcial	Parcial
Interpretabilidad	Sí	Parcial	No
Error de predicción	No	Sí	Sí

Fuente propia

Para determinar este a pesar y que Random Forest muestra un equilibrio entre las variables evaluadas, el determinante para escoger el modelo es error, para mayor detalle ver resultados del tercer objetivo (Breiman, 2001).

Tabla 7. Criterio 4 - Interfaz

Criterio 4	Tkinter (Python local)	Web (Flask/Django)	MATLAB GUI
Accesibilidad	Sí	No	No
Facilidad de implementación	Sí	Parcial	Parcial
Costo	Sí	Sí	No

Flexibilidad visual	Parcial	Sí	Parcial
---------------------	---------	----	---------

Fuente propia

Tkinter resulto ser la mejor interfaz, acá hay que tener en cuenta y es el lenguaje escogido previamente, además de que es simple y accesible a un costo cero, c cumple con el objetivo de flexibilidad en la interfaz para los usuarios. (Lutz, 2013).

Tabla 8. Criterio 5 - Librerías

Criterio 5	Pandas	Numpy	Matplotlib	Scikit-learn
Código abierto	Sí	Sí	Sí	Sí
Compatibilidad con predicción	Parcial	Parcial	No	Sí
Documentación	Sí	Sí	Sí	Sí
Soporte ML	No	No	No	Sí

Fuente propia

Las librerías seleccionadas permiten un análisis de datos, visualización y aplicación de ML, acá tener en cuenta que la librería clave para los entrenamientos de la predicción de demanda que se desean usar es Scikit-learn (Pedregosa et al., 2011).

Ahora bien, una vez realizados estos análisis se determina una lista de materiales que permitirán el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados en el proyecto:

- Computador con Windows 11
- Python
- Librerías como Pandas, Matplotlib, Tkinter, Scikit-learn
- Data extraída de Zeus
- Modelos de ML

7.1. CLASIFICACIÓN POR MEDIO DE METODOLOGIA ABC

7.1.1 Recolección de datos

Se realizo la recopilación de información histórica, sobre el consumo de herramientas, elementos de protección personal y dotación, la información que se detalla posteriormente corresponde a productos que se almacenan en la bodega de compras de Volvo Group Colombia.

Para el caso de la familia de herramientas los datos fueron extraídos por el sistema ERP (Enterprise Resource Planning) Zeus, se hizo mediante una consulta y extracción de Queries de ejecución presupuestal, que contiene los siguientes campos:

- Nombre
- Nit

- Dirección
- Fecha del documento
- Consecutivo
- Documento
- Documento tercero
- Tercero
- Nombre del tercero
- Cantidad
- Valor unitario
- Valor de compra
- Valor unidad

Ver anexo 1: Depurado

Ahora bien, en el caso de dotación y EPP's, el Query se extrae de un seguimiento que se hace con el coordinador de finanzas para temas de presupuesto y ejecución anualizada, en este informe se encuentra información, como, por ejemplo:

- FechaDocumento
- Cedula
- Nombre
- Cargo
- Color de Overol
- Líder de patio
- Ubicación Actual
- CodigoArticulo
- NombreArticulo
- Cantidad
- ValorUnitario
- ValorTotal

7.1.2 Procesamiento de datos

Con base en los datos extraídos previamente, se hizo una primera depuración que conduce a seleccionar solamente las variables importantes para el análisis ABC. Adicional a ello se calculó la siguiente información.

- Según Chopra y Meindl (2021) el cálculo del **consumo anual por producto (CA)** que es la agrupación por cantidades y fechas se obtiene sumando las cantidades de las transacciones en un periodo determinado

$$CA = \sum_{j=1}^n Cantidad_{ij} \quad (1)$$

donde;

$Cantidad_{ij}$: Cantidad registrada en la transacción j

n : Total de movimientos del producto i

- Ahora bien, el **Valor total consumido (VTC)** se fundamenta a partir del método ABC, Heizer et al. (2020) lo plantea como el, producto entre cantidad total comprada y el valor unitario de cada ítem

$$VTC = CA_i * Valor_{Unitario_i}(2)$$

donde;

CA : Consumo anual del ítem i

$Valor_{Unitario_i}$: Precio unitario del ítem i

- **Identificador único de cada ítem**, corresponde al código y nombre estándar por artículo, lo que evita duplicidad de datos y garantiza trazabilidad en el ERP Jacobs y Chase (2021).

7.1.3 Aplicación del análisis ABC

Se aplica el método de clasificación de inventarios, por medio de un script en Python que permitió leer los depurados de cada categoría, que se encuentran en hojas distintas del archivo de Excel, organizando los productos de acuerdo con su valor total de consumo acumulado y clasificándolo en 3 categorías, a continuación, se detallan:

- **Categoría A:** Productos de alto impacto, esta categoría representa el 80% del valor total con un 20% de ítems
- **Categoría B:** Productos de valor medio, con menor impacto
- **Categoría C:** Productos de valor bajo, con alta rotación

A continuación, en la tabla 9 un ejemplo de un top diez de artículos de valor alto en la familia de herramientas, para mayor detalle de este resultado diríjase al Anexo 5: Resultados objetivo 1

Tabla 9. Top 10 artículos por valor de consumo con participación porcentual acumulada

CodigoArticulo	NombreArticulo	CantidadTotal	%Acumulado	Clasificación ABC
HLOC7000182	BROCHA 2" / 14483-BRT-2" / TRUPER	147	2,91	A
HLOC7000201	CANDADO YALLE / 110-40 / YALE	115	5,19	A
HLOC7000116	LLAVES TIPO RATCHET 10mm / 91974 / STANLEY	112	7,41	A
HLOC7000186	GRATA / 11590CA-4 / TRUPER	110	9,59	A
HLOC7000157	DESTORNILLADOR DE PALA 3/8 x 12" / STHT69126 / STANLEY	104	11,65	A
HLOC7000198	LINTERNA DE MANO RECARGABLE / 19LED / VARTA	99	13,61	A
HLOC7000199	LINTERNA TIPO MINERO RECARGABLE / 10617 LI-CA130R / TRUPER	92	15,43	A
HLOC7000169	ALICATE CORTE DIAGONAL 6"-CORTAFRIOS / 84105 / STANLEY	91	17,23	A
HLOC7000003	COPA M 1/2 "13 mm / 86513 / STANLEY	74	18,70	A
HLOC7000063	RACHET 1/4" / 86119 / STANLEY	73	20,14	A

Fuente propia

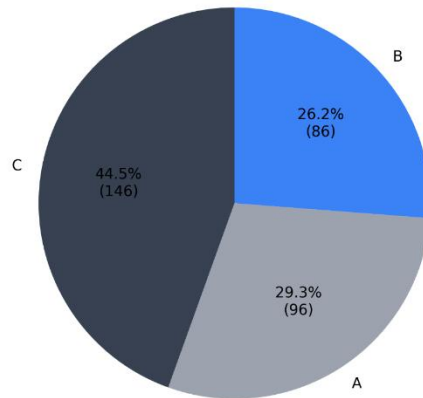
Con la ejecución de la metodología ABC, de cada familia de insumos, se obtuvieron las distribuciones en porcentaje de los ítems en las tres categorías, como se muestra en la figura x, la tendencia muestra que un poco menos de un tercio de los ítems, son el mayor peso de la operación y son los productos que requieren mayor seguimiento, por ende en términos de disponibilidad deben ser prioritarios al igual que en presupuesto, en contraste la mayor cantidad de artículos que se encuentran en la categoría C, representa menor impacto económico y aunque el seguimiento se puede simplificar es posible evitar una sobrecarga administrativa en estos productos

Tabla 10. Proporción por ítems e importancia

Hoja	A	B	C	Total
EPPS-Depurada	1	1	2	4
Tool-Depurada	87	81	136	304
Uniform-Depurada	8	4	8	20
Total	96	86	146	328

Fuente propia

Imagen 2. Proporción total de ítems ABC



Fuente propia

7.1.4 Metodología aplicada

Consolidación y limpieza de datos

Se consolidan en un mismo archivo las hojas útiles (con cantidades y valores) y se eliminan aquellas irrelevantes, con información nula, nada importante para el análisis

Código implementado

El script de Python, automatiza el proceso de clasificación por medio de una metodología ABC, esto lo hace en diferentes hojas, dependiendo la familia del producto, teniendo en cuenta el enfoque de automatización y el procesamiento de datos se ejecuta por medio del código que se encuentra en el Anexo 2: Código objetivo 1, a continuación, en la imagen 3, se comparte una parte del código que permite hacer la segregación y/o clasificación de los productos.

Imagen 3. Parametrización de metodología ABC

```
df_grouped['%Acumulado'] = 100 * df_grouped['CantidadTotal']. cumsum () /  
df_grouped['CantidadTotal']. sum()  
  
# Clasificación ABC - Proporciones  
def clasificar(valor):  
    if valor <= 80:  
        return 'A'  
    elif valor <= 95:  
        return 'B'  
    else:  
        return 'C'  
  
df_grouped ['Clasificación ABC'] = df_grouped['%Acumulado']. apply(clasificar)
```

Fuente propia

Es importante mencionar que este código permite leer múltiples hojas, con datos e información estándar relevante para el análisis, como lo es `CodigoArticulo`, `NombreArticulo`, `Cantidades` y `ValoresUnitarios`, a partir de esta estructura se calculan los consumos totales y se obtiene la respectiva clasificación, para mayor detalle de las tablas resultantes por familia y las gráficas generadas, el anexo 5 – Resultados objetivo 1 presenta el reporte completo que genera el modelo.

La aplicación práctica de la metodología no solo permite un resultado estadístico, sino que permitió mejorar las operaciones de la bodega. A diferencia del procedimiento anterior, que requería la intervención manual de dos pasantes universitarios, el modelo automatizado ya no requiere asistencia adicional, lo que ha reducido significativamente la carga de trabajo y aumentando la fiabilidad del análisis. Cabe aclarar que, en paralelo, se llevó a cabo una reestructuración de responsabilidades en el área lo que minimizó también la carga laboral asumida por los dos aprendices.

Los hallazgos del anexo 5 – Resultados del objetivo 1, demuestran que es fundamental concentrar los esfuerzos de control en la Categoría A, que incluye productos críticos para las operaciones y con el mayor impacto presupuestario especialmente considerando que la carga operativa recae solamente en una persona, en contraste, la Categoría C contiene la mayoría de los artículos, pero dada su importancia es necesario gestionarla con políticas de compra simplificadas y revisiones periódicas para evitar la acumulación innecesaria de inventario.

En conjunto, el análisis ABC permitió organizar y priorizar los inventarios de herramientas, equipos y equipos de protección personal. Esta ordenación no solo proporciona información sobre los suministros esenciales, sino que también crea una de las bases para avanzar hacia el segundo objetivo del proyecto: crear un modelo predictivo de la demanda mediante métodos de aprendizaje automático para mejorar las compras y predecir la disponibilidad de inventario de la empresa.

7.2. MODELOS DE MACHINE LEARNING PARA PREDICCIÓN DE DEMANDA

7.2.1 Fundamentos teóricos

La predicción de demanda en la gestión de inventarios es crucial. El aprendizaje automático permite identificar desde patrones de consumo, ciertas proyecciones o comportamientos futuros, basados en la data histórica, esto permitirá mejorar la capacidad de planificación y reposición. (Chopra & Meindl, 2021).

En este estudio se implementaron cuatro modelos de predicción de demanda supervisados por Machine Learning, se involucraron los siguientes: regresión lineal, árboles de decisión, Random Forest y XGBoost. Para resolver cada uno de los modelos se tuvieron en cuenta variables predictoras que se conocen como lags, también medias móviles y valores unitarios, también se consideraron variables temporales que para esta ocasión se entiende como los periodos en meses y por último las variables objetivo que son las cantidades requeridas o demanda.

Así mismo se definieron unas métricas que permiten hacer la evaluación de los modelos, métricas como: errores absolutos medios (MAE), errores cuadráticos medios (MSE) y coeficientes de determinación (R^2), con el objetivo de escoger un modelo que se adapte mejor a la situación con base en los patrones o información, de igual forma es la precisión un argumento válido para escoger el modelo que mejor aplique.

7.2.2 Estructuración y procesamiento de datos

La organización es clave para la etapa de estructuración, esto garantiza un estándar en los datos y compatibilidad con las diferentes librerías utilizadas para cada uno de los modelos.

Para iniciar con esta etapa al igual que para la priorización de productos por medio de la metodología ABC, se parte de un archivo depurado que para el caso de dotación y EPP's, el informe viene dado por el departamento de finanzas por temas presupuestales y en caso de la categoría de herramienta proviene del ERP Zeus, esta información se encuentra de forma tabular y cada familia se encuentra en una hoja independiente, este Anexo.1: Depurado contempla variables clave como el código y nombre de cada uno de los productos, cantidades consumidas, fechas de los movimientos, y un valor de compra.

Seguido de ello se contemplan variables temporales de Machine Learning de acuerdo con la literatura (Chopra & Meindl, 2021). Son rezagos (lags), medias móviles y variables temporales (meses).

7.2.3 Limpieza de datos

La limpieza es una etapa que involucra diferentes procesos,

- Identificar datos imprecisos o no pertinentes,
- Eliminación de movimientos duplicados
- Eliminación de registros con información incompleta
- Normalización de formatos para cada una de las categorías de fecha y numéricas.

Si bien los informes iniciales presentan inconsistencias, valores nulos, que a medida que pasan de filtro interno se van organizando, al final del ejercicio este tipo de variables se pueden seguir presentando, esto se evidencia en una etapa previa de análisis y revisión de información. Según (Heizer et al., 2020) este proceso asegura integridad, uniformidad y confiabilidad en un conjunto de datos y reduce la posibilidad de sesgos o desviaciones durante los entrenamientos

A continuación, en la imagen 5, se muestra como en el entrenamiento se normaliza los nombres de las columnas, eliminando espacios y dejando uniforme los encabezados en minúsculas

Imagen 4. Limpieza de datos en ML

```
frames = []

for hoja in sheet_names:
    try:
        df = pd.read_excel(ruta_excel, sheet_name=hoja)
    except Exception:
        continue
    df.columns = df.columns.str.strip().str.lower()
    # Limpia los nombres de las columnas: quita espacios en blanco y convierte
    # todo a minúsculas
    req = ["codigoarticulo", "nombrearticulo", "cantidad", "fechadocumento",
"valorunitario"]
    # Define las columnas requeridas para trabajar con el DataFrame

    if not all(c in df.columns for c in req):
        continue
    df = df[req].copy()
    df["fechadocumento"] = pd.to_datetime(df["fechadocumento"],
errors="coerce")
    # Convierte la columna 'fechadocumento' a formato fecha; valores inválidos se
    # marcan como NaT

    df["cantidad"] = pd.to_numeric(df["cantidad"], errors="coerce").fillna(0)
    # Convierte 'cantidad' a valores numéricos; datos no válidos se vuelven NaN y
    # luego se reemplazan con 0

    df["valorunitario"] = pd.to_numeric(df["valorunitario"],
errors="coerce").fillna(0)
    # Convierte 'valorunitario' a valores numéricos; datos no válidos se vuelven
    # NaN y luego se reemplazan con 0

    frames.append(df)
    # Agrega el DataFrame procesado a la lista 'frames'
```

Fuente propia

Para mayor detalle en la programación, diríjase al Anexo 3 - Código objetivo 2, en este se encuentra parcialmente el desarrollo.

7.2.4 Implementación de los modelos de Machine Learning

Como se mencionaba previamente, fueron cuatro los modelos ajustados al proyecto, de acuerdo con la matriz de decisión de la tabla 4. Criterio 1 – Lenguaje. se

seleccionó el lenguaje de Python para la programación de los modelos de Machine Learning, ahora bien, en el caso de las librerías que también se mencionan en las matrices de decisión en la tabla 8 específicamente, la utilizada es Scikit-learn y XGBoost que es propia del modelo, con ayuda de estas librerías robustas se facilita el entrenamiento, la validación y visualización de los resultados.

- Regresión lineal: Modelo de predicción cuantitativa que tiene una relación directa entre la variable objetivo y las variables predictoras, cuando esta es de tipo lineal y clara su practicidad para usarlo es el mejor beneficio (Mecalux, 2024).
- Árboles de decisión: Por el contrato es no lineal, acá su base es generar particiones en regiones homogéneas con condicionales o reglas que son capaces de capturar patrones complejos (Valerdat, 2025).
- Random Forest: Involucra múltiples árboles de decisión, por medio de muestras aleatorias de observaciones y variables, maneja un doble ajuste y lo hace naturalmente a los árboles simples. (Slimstock, 2023; LEAFIO AI, 2025).
- XG Boost, es un modelo cuya base es el boosting, su objetivo es optimizar los errores residuales que se obtienen de los árboles comparativos, acá cada iteración permite mayor robustez y mejor adaptabilidad a datos complejos. (Valerdat, 2025; Mecalux, 2024).

7.2.5 Entrenamiento y validación del modelo

Para las familias evaluadas en este proyecto (EPP, dotación y herramientas), se realizó un entrenamiento para los cuatro modelos, usando variables predictoras, como:

- Lag_1: Demanda del mes anterior.
- Lag_2: Demanda de dos meses anteriores.
- Media_movil_3: Promedio variable de 3 meses.
- Valor_unitario: Precio promedio del producto.
- Mes: Mes actual (número).

Se definen también la variable dependiente (y) que es la cantidad consumida para el periodo siguiente, acá se permite calcular tendencias de consumos y estacionalidad de productos. A continuación, en la imagen 6 se muestra el desarrollo del código que lee el historial desde un informe de Excel, divide los datos en dos subconjuntos:

- a) El entrenamiento, que es del 80% que identifica los patrones históricos de consumo

- b) La prueba, que es el 20%, que se encarga de simular condiciones de pronóstico siguiendo una secuencia temporal sin mezclar los registros.

Entrena los modelos y genera las métricas de desempeño para cada ejercicio y finalmente produce la predicción del mes siguiente por cada SKU en los cuatro modelos.

7.2.6 Generación de pronósticos

Luego de entrenar los 4 modelos de predicción, se procede con las estimaciones de demanda para cada SKU para el mes siguiente, importante tener en cuenta que la data se encuentra clasificada por familia de productos. A continuación, se detallan los pasos:

Preparación del conjunto de datos:

Los datos depurados se agrupan por familia de productos, asegurando que cada SKU cuente con los datos históricos necesarios para entrenar los modelos.

Validación y entrenamiento del modelo:

Se aplicaron los cuatro métodos de predicción a cada SKU. Y adicional se calcularon métricas de error (MSE, MAE y R^2) para analizar los resultados, determinar el rendimiento relativo de cada modelo y argumentar el más adecuado para cada periodo.

Elaboración de pronósticos:

Utilizando los modelos entrenados, se elaboraron pronósticos de consumo para el siguiente período de cada SKU.

Exportación de los resultados:

Los pronósticos se almacenaron en un archivo de Excel, donde en una única hoja se obtienen los pronósticos por modelo para cada SKU, lo que permite una comparación directa del rendimiento.

Algunos pronósticos para ciertos SKU se muestran en la imagen 6, acá se evidencia código y nombre del producto, última cantidad, el valor unitario del periodo, el mes evaluado y los pronósticos de acuerdo con cada método

Imagen 5. Pronósticos por artículo

Pronósticos por artículo (próximo mes)									
Buscar: <input type="text"/>									
Codigo	Nombre	UltCant	valorunitario	mes	pred_RandomForest	pred_LinearRegressio	pred_DecisionTree	pred_XGBoost	
DOT00012	CAMISA OVEROL AZ	20	37550.0	1	15	20	8	15	
DOT00013	CAMISA OVEROL AZ	10	37550.0	1	7	10	4	9	
DOT00014	CAMISA OVEROL AZ	10	37550.0	1	9	10	8	10	
DOT00015	CAMISA OVEROL AZ	5	37550.0	1	8	5	4	7	
DOT00023	KIT TALLA 9	39	239477.0	1	37	39	44	38	
DOT00024	KIT TALLA 10	6	239477.0	1	6	6	4	6	
DOT00025	KIT TALLA 7	12	239477.0	1	11	12	8	10	
DOT00026	KIT TALLA 8	73	239477.0	1	62	73	65	68	
DOT00029	OVEROL ENTERIZO A	5	69690.0	1	7	5	2	6	
DOT00031	OVEROL ENTERIZO A	5	69690.0	1	7	5	8	6	
DOT00058	CAMISETA POLO AZI	10	31690.0	10	9	10	15	10	
DOT00084	CAMISETA POLO AZI	5	31690.0	1	7	5	4	8	
DOT00127	OVEROL ENTERIZO A	15	69690.0	10	15	15	24	15	
HLOC7000000	COPA M ½ " 10 mm.	5	5050.0	11	5	5	4	3	
HLOC7000001	COPA M ½ " 11 mm.	1	4800.0	8	1	1	1	1	
HLOC7000002	COPA M ½ " 12 mm.	1	5100.0	11	1	1	2	1	
HLOC7000003	COPA M ½ " 13 mm.	8	5050.0	11	9	8	16	8	
HLOC7000004	COPA M ½ " 14 mm.	1	4800.0	8	1	1	1	1	

Fuente propia

7.2.7 Métricas de evaluación de los modelos

Finalmente, para evaluar el desempeño de los cuatro modelos implementados, se implementaron métricas de error y bondad de ajuste, con el objetivo de conocer la precisión de cada uno de los pronósticos de acuerdo con unos valores históricos. Para esta evaluación se usaron las siguientes métricas:

Error Absoluto Medio (MAE):

Calcula la diferencia promedio absoluta, entre los valores de la data y los pronosticados, su interpretación es sencilla, cuanto menor sean los valores mejor precisión en el modelo (Willmott & Matsuura, 2005).

Error Cuadrático (MSE):

Muestra el promedio de los errores al cuadrado, su resultado muestra si el modelo tiende a generar desviaciones significativas de ciertos productos. (Chai & Draxler, 2014).

Coficiente de Determinación (R²):

Mide el grado de varianza del pronóstico de demanda [variable dependiente (y)], su lectura también es fácil cuanto más cercano sea a 1 mejor ajuste del modelo respecto a la data histórica. (Draper & Smith, 1998).

La combinación de estos cálculos explica la precisión de cada algoritmo, esto permite identificar cual método tiene mejor ajuste y permite escoger el que mejor enfoque resulte para las familias de productos evaluados, de esta forma la selección del modelo

será el de mayor robustez y precisión, para ver los resultados ver imagen7. Métricas de modelos

Imagen 6. Métricas de modelos

Métricas de modelos			
Modelo	MAE	MSE	R2
LinearRegression	2.110626488397808e-12	9.591611920847799e-24	1.0
XGBoost	1.1585670709609985	5.505463123321533	0.8683155179023743
RandomForest	1.2375448028673834	7.108256421744325	0.8299784918395627
DecisionTree	2.3843140646625223	22.284032247041363	0.46699098263424077

Fuente propia

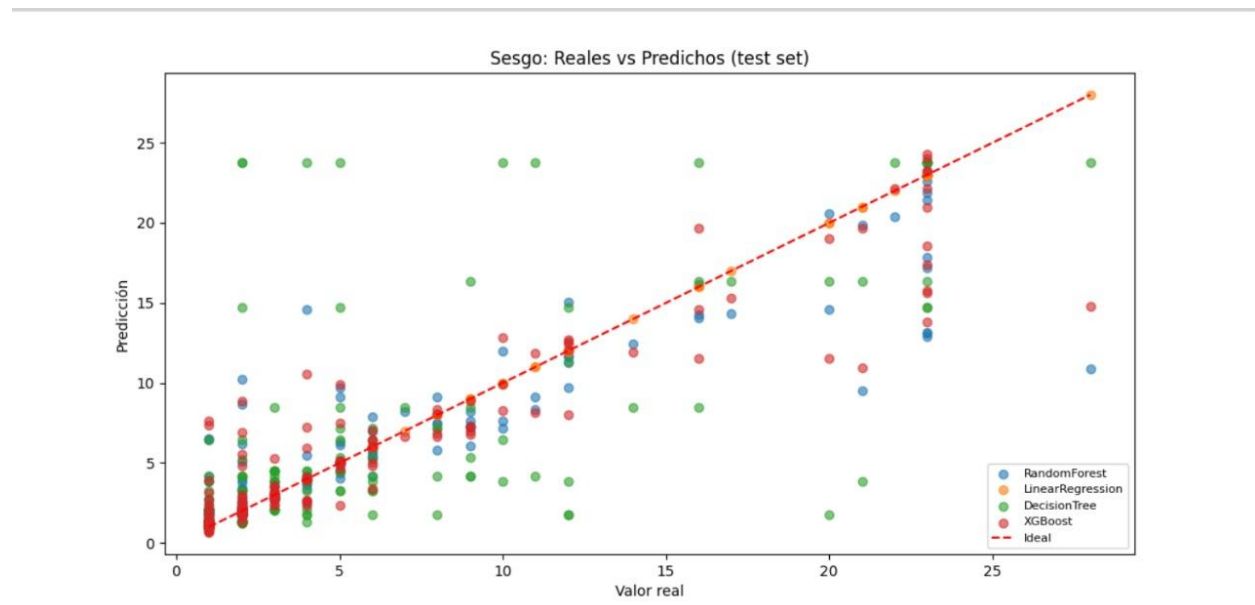
La figura 7 muestra una comparación entre los valores reales y los valores previstos de los diferentes modelos de predicción que se revisaron en el objetivo anterior: Random Forest, regresión lineal, árbol de decisión y XGBoost. La línea punteada roja representa el escenario ideal, en el que la predicción coincide perfectamente con el valor real. Cada punto del gráfico refleja la predicción individual de cada modelo en relación con el valor real correspondiente.

Como se puede observar, los modelos muestran diferentes patrones de sesgo:

- Random Forest y XGBoost tienen una tendencia cerca a lo ideal, esto muestra una predicción concisa y un sesgo bajo.
- El modelo Decision Tree muestra más dispersión, esto muestra un sesgo más pronunciado y sus predicciones son menos consistentes.
- Linear Regression, aunque sigue la tendencia general, muestra algunos valores extremos que se desvían de la línea ideal. Pero que en métricas se alinea a los valores ideales

Este tipo de análisis es crucial para evaluar la precisión y fiabilidad de los modelos, ya que permite identificar tendencias de error sistemáticas y ajustar los modelos según sea necesario (Hastie, Tibshirani y Friedman, 2017). La interpretación visual de los sesgos y las ponderaciones asociadas a las predicciones ayuda a seleccionar el modelo más adecuado para la gestión de inventario en el almacén de compras de Volvo Group Colombia.

Imagen 7. Pesos y sesgos de los pronósticos



Fuente propia

Finalmente, en el anexo 6 – Resultados del objetivo 2, se muestra el Query descargado desde la interfaz, este archivo muestra los pronósticos de demanda y las métricas de los modelos.

7.3. INTERFAZ

Diseñar una interfaz gráfica en Python, permitiendo una visualización y comparación del análisis ABC tradicional con los resultados obtenidos por el modelo de Machine Learning, para apoyar la toma de decisiones de los analistas de compras.

La interfaz que se desarrolló se hizo a partir de la librería Tkinter, con ayuda de los complemento ttk para menús,, cuadros de dialogo, alertas, incluso tablas de resultados, la arquitectura funciona alrededor de una clase principal que en el código se menciona como App, esta gestiona los menús y las sub-ventanas, así como la clase de almacenamiento que se conoce como (DataStore), esta última se encarga de administrar los datos activos de movimientos, clasificaciones y predicciones de los productos

7.3.1 Roles de usuario y permisos

Con el fin de gestionar adecuadamente la herramienta, se definen dos perfiles, a continuación, las especificaciones de cada uno:

Administrador

- Acceso a todas las funcionalidades

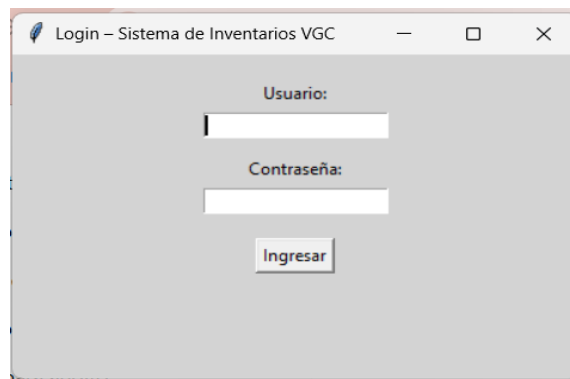
- Puede registrar productos, editarlos y eliminarlos
- Ejecuta análisis ABC, pronósticos de demanda y por ende a las métricas de evaluación
- Puede realizar un reset completo del sistema

Operario

- Acceso limitado a registrar entradas y salidas de inventario
- Solo puede visualizar el inventario actual
- No puede ejecutar ABC ni pronósticos de demanda

Estos roles se crean por el contexto y temas de compliancia del área, en VGC se aseguran de que los análisis y decisiones críticas sean validadas solamente por el personal autorizado, ver imagen 8, para visualizar pantalla de Login

Imagen 8. Login



Fuente propia

7.3.2 Estructura de la interfaz

Dentro de los módulos clave se encuentran:

Cargar Historial Excel

Botón que permite cargar archivo con el cual ABC y pronósticos van a llegar a un resultado, en este caso puede ser el mismo anexo1, Depurado.

Productos

Permite crear los diferentes SKU, acá es importante definir el código, el nombre y el valor de compra, los productos que se creen en este apartado son los que en la ventana de movimientos se van a poder registrar

Movimientos

Su objetivo es registrar cada uno de los movimientos, tanto entradas como salida, de forma que en la pantalla de inventario se permita un control en tiempo real

Inventario:

Muestra el inventario disponible y a partir de una data él va a ir construyendo un inventario mínimo a partir de un EOQ, de forma que se muestre una alerta para dar apertura a la etapa de abastecimiento

Análisis ABC:

Calcula la clasificación de los artículos en función de la cantidad acumulada, las categorías son A, B, C, de igual forma se pueden realizar búsquedas dinámicas en la tabla de resultados

Pronósticos

Se incorporan cuatro modelos predictivos de pronósticos de demanda por medio de Machine Learning que comparan su desempeño por medio de métricas de error, las predicciones se muestran para el periodo siguiente en función de los productos, de igual forma cuenta con un cuadro de búsqueda rápida.

Graficas

Integra visualizaciones interactivas usando Matplotlib, muestra proporción de la clasificación de ABC a nivel general, adicional muestra productos de baja demanda, y métricas de desempeño

Exportar Inv./Mov

En este módulo, al ingresar permite la descarga de archivo tipo Excel, donde se muestran, Analítica (Metodología ABC, pronósticos, métricas), Movimientos e inventario

Salir

Botón para cerrar app o cambiar de usuario

Los botones que se mencionaron anteriormente manejan un estilo uniforme que facilitan la interacción con ellos, de igual forma es un diseño adaptable de dependiendo la condición y situación del negocio, importante mencionar que el rol de administrador cuenta con un botón de reset general, cuyo propósito es limpiar los datos y reiniciar el

sistema de ser necesario. Ver imagen 9 para visualizar el diseño en un ingreso de rol administrador

Imagen 9. Diseño interfaz.



Fuente propia

La implementación de esta herramienta práctica no solo permitió automatizar la gestión de inventario, sino que también proporcionó a los analistas de compras de Volvo Group Colombia una plataforma para comparar los resultados del análisis ABC tradicional con las proyecciones generadas mediante aprendizaje automático. Esto optimiza la toma de decisiones estratégicas relacionadas con el suministro y el control de insumos, equipos y EPP críticos. Para visualizar el detalle de cada módulo, en el Anexo 10 - Work Instruction S&P - VGC Se muestra un instructivo de uso con el detalle de cada parámetro.

7.3.3 Funcionamiento general

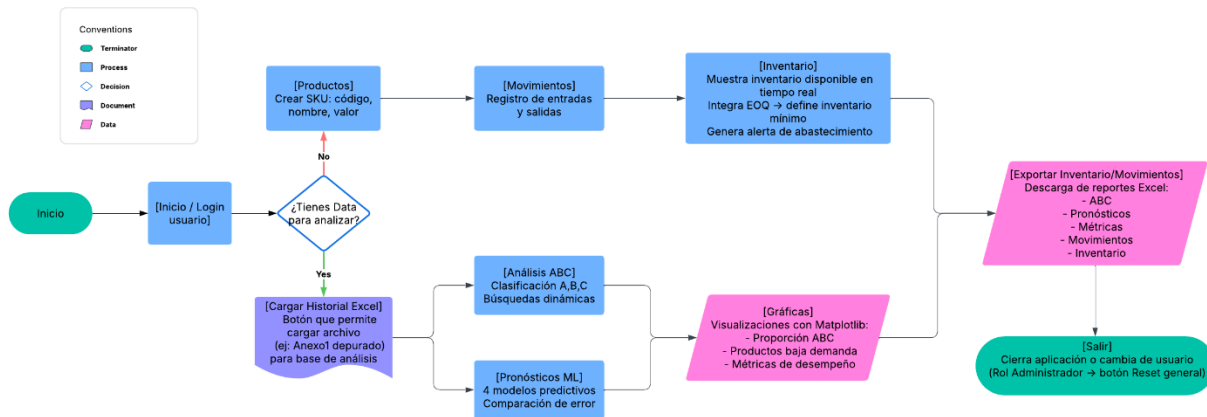
Con el propósito de entender el funcionamiento de la interfaz y la secuencia de cada una de sus sub-ventanas, se elabora un diagrama de lógica que describe desde el inicio de la sesión hasta la exportación de resultados, En la imagen 10 se observa como cada sub-ventana se articula con las demás, desde la creación de los productos y el inventario hasta el análisis ABC, la generación de pronósticos, la visualización de gráficas y exporte de informes

Cada forma tiene un significado, en la imagen también se observan las convenciones, la idea es que el usuario siga el recorrido de acuerdo con su necesidad,

tener en cuenta que este diagrama alude al rol de administrador, pues el rol operativo no tiene disponibilidad de todas las sub-ventanas

Para mayor detalle de cada sub-ventana diríjase al anexo 7: Work Instruction S&P – VGC, allí se detalla el uso de la interfaz para los dos roles

Imagen 10. Diagrama de lógica



Fuente propia

7.3.4 Beneficios

El centralizar tanto los movimientos, como el inventario, la prioridad (Análisis ABC) y los pronósticos de demanda optimizan recursos como el tiempo, de igual forma la interfaz permite observar de manera implícita la prioridad del SKU y si tiene alguna relación con el pronóstico de demanda, por otro lado, los accesos en roles diferenciados protege la integridad de los datos que es un pilar fundamental del ámbito de seguridad, así mismo estos beneficios y su correcto uso brindan un soporte considerable en la toma de decisiones que puede estar sustentada con el descargue de información que se está manejando y por último la integración gráficas y de tablas se hace intuitiva, que con apoyo del work instruction, Anexo 10 - Work Instruction S&P - VGC este punto pasaría a segundo plano pero que se convierte en una visualización práctica

7.4. INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Establecer indicadores de desempeño (KPI's) desarrollando métricas personalizadas que permitan el monitoreo y el control de inventarios de manera efectiva y en tiempo real.

7.4.1 Indicadores clave de rendimiento

Los KPI visualizados en la tabla 5 se calcularon a partir de los informes que se pueden descargar del ERP (Zeus) y los modelos o plantillas que se tienen desde el área de compras para la gestión del departamento. Tener en cuenta que los KPI son métricas cuantitativas diseñadas para evaluar el rendimiento de procesos críticos, en el entorno de logística como es este caso, estas métricas pueden monitorear eficiencia, precisión de entrega y control de inventarios. (Álvarez & Pérez, 2021; González & Ríos, 2018).

Tasa de rotación:

Mide el número de veces que se renueva el inventario durante un periodo determinado, se puede leer de la siguiente forma:

- Alta rotación: Gestión activa y menor obsolescencia
- Baja rotación: Sobre stock y mala planeación

(Fernández & González, 2020).

Nivel de conformidad:

Evalúa la proporción de productos que cumplen con los estándares de calidad o lo solicitado por el cliente interno, interpretar de la siguiente forma

- Cercano a 100%: Alta confiabilidad

(Sun & Zhang, 2019).

Inventario Saludable:

Muestra si el nivel del inventario esta alineado con los niveles óptimos de stock definidos internamente por parámetros de la compañía. Evaluar de la siguiente forma:

- Resultado igual a 1: Inventario saludable
- Resultado menor a 1: Inventario con oportunidades

(Vieira & Loures, 2023).

Lead Time:

Hace referencia al tiempo transcurrido entre la fecha del requerimiento y la fecha en la que se atiende la solicitud, entender de la siguiente forma:

- A menores tiempos mayor agilidad del proceso

7.4.2 Indicadores de proceso o rendimiento

Los indicadores de rendimiento o de proceso se relacionan directamente con las desviaciones operativas en tiempo real, estos permiten identificar cuellos de botella, inconsistencias o fallas (Vieira & Loures, 2023; Álvarez & Pérez, 2021).

Inventario cíclico

Muestra las discrepancias entre el inventario virtual y el físico, se debe interpretar de acuerdo con los siguientes parámetros

- Resultado igual a 0: No hay desviaciones
- Resultado diferente de cero: Discrepancias por diferentes escenarios (Fernández & González, 2020).

Disponibilidad de inventario

Este indicador de gestión viene dado por una decisión y establece alertas de faltantes en el inventario, este indicador muestra el grado de servicio. Tener en cuenta la siguiente proposición:(González & Ríos, 2018).

- Disponibilidad diferente de 0, hay faltantes

Costo operativo total

Mide en términos presupuestales que tan alcanzable esta la meta, ocasionalmente este indicador se mide con costos de rotación, almacenamiento y compras. Este viene dado en términos porcentuales (Sun & Zhang, 2019).

Los indicadores mencionados anteriormente, se pueden evaluar por medio de algunas ecuaciones, estas se muestran en la imagen 11. Indicadores de gestión

Imagen 11. Indicadores de gestión

INDICADORES KPI

- **Tasa de rotación**

$$TR = \frac{\text{Costo de bienes entregados}}{\text{Inventario promedio}}$$

- **CALIDAD – Conformidad (uso)**

$$Q = 1 - \frac{\text{No conformes}}{\text{Total lote}} * 100$$

- **Inventario Saludable**

$$iH = \frac{\text{Producto suma articulos}}{\text{Cantidades metas}}$$

- **TIEMPO – Lead Time**

$$LD = \text{Fecha de entrega} - \text{Fecha de SC}$$

INDICADORES PI

- **Inventario cíclico**

$$iC = \text{Inventario virtual} - \text{Salidas de mercancia} - \text{Inventario actual}$$

Si $iC = 0$, es optimo

- **DISPONIBILIDAD – Faltantes**

Hay Faltantes, Si Inventario ciclico $\neq 0$

- **COSTOS – Costo meta o total**

$$\frac{\text{Ventas en el período actual}}{\text{Objetivo de ventas}} * 100.$$

Fuente propia

8. CONCLUSIONES

El desarrollo de la propuesta del sistema automatizado con Machine Learning en la gestión de inventarios de la bodega de compras de VGC, permitió un cumplimiento de los objetivos planteados, adicional se logró el cambio del uso de metodologías tradicionales a enfoques modernos para el análisis de datos.

En primer momento, la aplicación de una metodología ABC, permitió priorizar los insumos que de acuerdo con el impacto en la operación y la ejecución presupuestal diferencias aquellos con mayor valor económico y que son de baja rotación, este análisis complementa la identificación de productos de baja demanda que permite definir el umbral de esta categoría que en este ejercicio se definió con un consumo acumulado mejor o igual a cinco unidades en el histórico, esta categoría representa una oportunidad en la obtención de recursos y planificación de compra que se puede ligar a la etapa de presupuesto de cada operación con el fin de minimizar el impacto operativo

Seguido de ello, la implementación de un modelo de Machine Learning que se basa en un algoritmo e Random Forest Regressor, posibilito predecir con mayor precisión la demanda de cada una de las familias de productos que se analizaron, el impacto de este desarrollo esta dado con la planificación de compras y reducción de riesgos de desabastecimiento en términos logísticos de la bodega, este desarrollo demostró que la rama de la inteligencia artificial puede fortalecer y complementar las metodologías de inventarios tradicionales que vienen dados por políticas y acuerdos globales de la compañía, de igual forma demuestra a la industria incluso a sus aliados estratégicos un método de inteligencia de negocios que puede sustentar la toma de decisiones.

La interfaz gráfica creada no solo logró el objetivo de combinar modelos de aprendizaje automático y la clasificación ABC convencional, sino que también demostró ser una herramienta intuitiva, versátil y flexible para diferentes funciones en la operación. Su diseño permitió a los operadores y administradores acceder a la información de forma clara, reduciendo la dependencia de los informes manuales y facilitando la interpretación de los resultados a través de gráficos y tablas interactivos. La inclusión de opciones de exportación a Excel también mejoró la trazabilidad y el registro de los procesos de gestión. En cuanto a la experiencia del usuario, la interfaz facilitó la interacción con algoritmos predictivos, garantizando que no se requieran conocimientos técnicos avanzados para utilizar la inteligencia artificial.

Por último, esta interfaz se reconoce como escalable y replicable en otras áreas de la organización, lo que la convierte en un vínculo entre el análisis de datos, la automatización de procesos y la toma de decisiones estratégicas en VGC.

Así mismo, en cualquier proceso de la compañía se definen indicadores de desempeño que funcionan como incentivos monetarios para los colaboradores, esto motivo la incorporación de indicadores de desempeño claves y para la operación, con el fin de cuantificar los beneficios de la propuesta y en términos operativos la disponibilidad, la eficiencia y la reducción de costos asociados al suministro de materias o insumos

indirectos a la operación, estos indicadores en su primera evaluación demostraron que se podía dar una disminución en la carga operativa del personal, y que este tiempo fomentaba un espacios de decisiones estratégicas soportada por los datos.

En general, los resultados obtenidos confirman que la propuesta aporta beneficios económicos, operativos y ambientales, que va de la mano con la acreditación en la ISO 9001, en términos de calidad, 45001 en temas de HSE, y el aporte en el plan para la certificación 14001 en la línea medio ambiental. Pues la trazabilidad de los inventarios contribuye a la sostenibilidad de la operación, además es importante resaltar que el sistema es escalable y puede replicarse a diferentes áreas de la organización en futuros requerimientos, por ejemplo, logística de concesionario o centros de distribución LATAM

Desde la perspectiva de ingeniería mecatrónica este trabajo muestra la importancia de integrar en los diferentes procesos de la compañía, herramientas de automatización y control que vayan de la mano con inteligencia de datos en sistemas logísticos y financieros. La propuesta demostró que el algoritmo de machine Learning no solo aporta en la toma de decisiones sino que refleja estrategias de software, hardware y técnicas de análisis inteligente para el desarrollo de sistemas aplicados en la industria, de este modo, la investigación aportó un valor diferencial en el que la mecatrónica no solo está dado en el ámbito productivo, sino que la eficiencia se vio reflejada en procesos administrativos y logísticos, abriendo puertas a soluciones robustas e innovadoras alineadas con retos de la industria 4.0

Finalmente, se reconoce que durante el desarrollo se notaron una serie de oportunidades que se pueden fortalecer con tecnologías emergente como el internet de las cosas, sistemas de identificación por radio frecuencia, visión artificial, logística espejo, que son alternativas que permiten fortalecer la trazabilidad, contar con un control en tiempo real e integrar el sistema con las políticas de gestión empresarial globales.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el análisis ABC dentro del ERP corporativo (Zeus) actual, de modo que se conozca la prioridad de atención de compra de modo que se derive directamente de la aplicación, la prioridad de atención, esto permitirá tomar decisiones objetivas y rápidas que están alineadas con la política formal, que se encuentra dentro de los anexos.

Se aconseja incorporar en la política de inventarios los parámetros de reabastecimiento, la formalidad del umbral, y la definición de acciones y/o actividades que traen la categorización de la prioridad de la metodología ABC, asegurando de esta forma que los productos de alta rotación no entren en desabastecimiento y que los de baja demanda no generen costos de almacenamiento.

Se sugiere continuar con el desarrollo y aplicación del modelo Random Forest en todos los tipos de órdenes de compra y/o familias de productos que maneja el área de compras, de modo que se pueda clasificar la importancia de los insumos con base en su rotación y patrones de consumo, de esta forma la planeación de compras se puede dar de forma global.

El desarrollo de interfaces hombre-maquina y sensores inteligente que se integren con el ERP, de modo que se optimice la captura de datos y la carga del rol operativo se reduzca, se recomienda aplicar una estrategia para transformar la gestión de inventarios por medio de un proceso ciber físico, por ejemplo, la logística y electrónica espejo.

Se propone involucrar los PI y KPI definidos por el objetivo 4, en el tablero de desempeño del área de compras en el SharePoint, de modo que la información sea visible para los clientes internos y auditores. Se plantea incorporar dentro de la matriz de indicadores de desempeño, con el fin de generar planes de acción por medio de la metodología cuando su cumplimiento no se dé por más de tres meses, como lo define la política de calidad, de este modo la propuesta se alinea con los objetivos, directrices y enfoque corporativo global

En contraste se recomienda por medio del modelo Random Forest y de los árboles de decisión ejecutar un modelo de clasificación, para predecir también las categorías o importancia de acuerdo con su rotación.

10. BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- BALDWIN, C. (2010). Gestión empresarial. México: Firms Press.
- BAZARAA, M. S.; JARVIS, J. J. SHERALI, H. D. (2010). *Linear Programming and Network Flows* (4.ª ed.). Wiley.
- BABBIE, E. R. (2010). Fundamentos de la investigación social. 5ª ed. México: Cengage Learning.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. (2010). *Discrete-Event System Simulation* (5.ª ed.). Prentice Hall.
- BISHOP, C. M. (2006). Pattern recognition and machine learning. Nueva York: Springer.
- CACHON, G.; TERWIESCH, C. (2019). Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management (4.ª ed.). McGraw-Hill. (Libro)
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. (2021). Administración de la cadena de suministro: Estrategia, planificación y operación. 7ª ed. México: Pearson.
- CHRISTOPHER, M. (2020). Logística y gestión de la cadena de suministro. 6ª ed. México: Pearson.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. (1998). *Applied regression analysis* (3rd ed.). New York: Wiley-Interscience.
- FERNÁNDEZ, J.; PRIETO, M. (2021). Sostenibilidad en la industria automotriz: Estrategias y modelos de gestión. México: McGraw Hill.
- FORRESTER, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT Press. (Libro)
- GÉRON, A. (2019). Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. 2ª ed. O'Reilly Media.
- GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. (2016). Deep learning. Cambridge: MIT Press
- HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. (2017). *The Elements of Statistical Learning* (2.ª ed.). Springer
- HEIZER, J.; RENDER, B.; MUNSON, C. (2020). Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. México: Pearson.
- HERNÁNDEZ, N. B.; RICARDO, J. E. (2018). Gestión empresarial y posmodernidad. Infinite Study.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ COLLADO, C.; BAPTISTA LUCIO, P. (2014). Metodología de la investigación. 6ª ed. México: McGraw-Hill.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.; MENDOZA TORRES, C. P.; BAPTISTA LUCIO, M. P. (2021). Metodología de la investigación cuantitativa, cualitativa y mixta. 7ª ed. México: McGraw-Hill Education.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. (2021). *Introduction to Operations Research* (11.ª ed.). McGraw-Hill.
- HUMBERTO, G. S. (2017). Inventarios: manejo y control. Bogotá: Ecoe Ediciones.

- HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice*. 3ª ed. OTexts.
- JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. (2021). *Operations and Supply Chain Management*. México: McGraw-Hill.
- LAI, K. H.; CHENG, T. E. (2016). *Just-in-time logistics*. Routledge.
- LUTZ, M. (2013). *Learning Python* (5.ª ed.). O'Reilly Media.
- MCKINNEY, W. (2017). *Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython* (2.ª ed.). O'Reilly Media.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (5.ª ed.). Wiley.
- NAHMIAS, S.; OLSEN, T. (2015). *Production and Operations Analysis*. Waveland Press.
- NEGAHBAN, A.; SMITH, J. S. (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(2), 241–261.
- OGATA, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5.ª ed.). Prentice Hall
- PRESSMAN, R. S. (2015). *Ingeniería del Software: Un enfoque práctico* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- QUINLAN, J. R. (1993). *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4.ª ed.). Pearson.
- SILVER, E. A.; PYKE, D. F.; PETERSON, R. (2016). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling* (4.ª ed.). Wiley.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. (2014). *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies* (3.ª ed.). McGraw-Hill.
- CACHON, G.; TERWIESCH, C. (2019). *Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management* (4.ª ed.). McGraw-Hill. (Libro)
- STERMAN, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
- TAMAYO Y TAMAYO, M. (2009). *El proceso de la investigación científica*. 6ª ed. México: Limusa Noriega Editores.
- VAN ROSSUM, G.; DRAKE, F. L. (2009). *The Python Language Reference Manual*. Network Theory Ltd.
- WATERS, D. (2019). *Control y gestión de inventarios*. 3ª ed. Wiley.

ARTÍCULOS DE REVISTAS CIENTÍFICAS

- ÁLVAREZ, J. M.; PÉREZ, M. L. (2021). Indicadores de rendimiento en la gestión de inventarios: análisis de su impacto en la cadena de suministro. *Revista de Logística y Gestión Industrial*, 13(2), p. 65–78. Disponible en: <https://doi.org/10.24310/rlgi.v13i2.12830>

- AAMER, A.; SAWANT, R. (2021). Advanced technologies in logistics and supply chain management: Trends and applications. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 39(3), p. 305-322.
- APUNTE-GARCÍA, R. M.; RODRÍGUEZ-PIÑA, R. A. (2016). Diseño y aplicación de sistema de gestión en inventarios en empresa ecuatoriana. *Ciencias Holguín*, 22(3), p. 1-14.
- BARYANNIS, G.; DANI, S.; ANTONIOU, G. (2019). Predictive analytics and artificial intelligence in supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106024.
- BECERRA-GONZÁLEZ, K.; PEDROZA-BARRETO, V.; PINILLA-WAH, J.; VARGAS-LOMBARDO, M. (2017). Implementación de las TIC en la gestión de inventario dentro de la cadena de suministro. *Revista de iniciación científica*, 3(1), p. 36-49.
- BERTSIMAS, D.; KALLUS, N. (2014). From predictive to prescriptive analytics. *Management Science*, 60(6), p. 1534-1558. Disponible en: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1854>.
- BREIMAN, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), p. 5–32.
- CARDONA-TUNUBALA, J. L.; OREJUELA-CABRERA, J. P.; ROJAS-TREJOS, C. A. (2018). Gestión de inventario y almacenamiento de materias primas en el sector de alimentos concentrados. *Revista eia*, 15(30), p. 195-208.
- CHAI, T.; DRAXLER, R. R. (2014). Root means square error (RMSE) or means absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), p. 1247–1250. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>.
- CHEN, T.; GUESTRIN, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD*
- DISNEY, S. M.; TOWILL, D. R. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 199–215.
- ENRÍQUEZ ZÁRATE, L. G.; RODRÍGUEZ LOZADA, M. Á. (2020). Beneficios de utilizar el análisis ABC en la administración de inventarios. *Revista Ciencia Administrativa*, (1).
- FERNÁNDEZ, A.; GONZÁLEZ, L. (2020). Optimización de procesos logísticos mediante indicadores clave de desempeño. *Revista Ingeniería Industrial*, 41(1), p. 22–37. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=58869048003>.
- GÓMEZ, L. (2018). *Aplicaciones del código QR en la gestión de inventarios*. *Revista Ingeniería Industrial*, 39(3), p. 77–89.
- GONZÁLEZ, P.; RÍOS, D. (2018). Indicadores clave de rendimiento en logística. *Revista Iberoamericana de Tecnología*, 14(2), p. 29–45. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-97532018000200029
- HAZEN, B. T.; SKIPPER, J. B.; EZELL, J. D.; BOONE, C. A. (2016). Big data and predictive analytics for supply chain sustainability. *Computers & Industrial Engineering*, 101, p. 592–598.

- HERNÁNDEZ, F.; VARGAS, J. (2019). *Internet de las Cosas y su aplicación en la gestión de inventarios inteligentes*. Revista Iberoamericana de Tecnología en Logística, 12(1), p. 33–49.
- KÖNIG, A.; HUCHZERMEIER, A. (2011). The impact of simulation on supply chain design and management. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 34–44.
- LUTZ, M. (2013). *Learning Python* (5th ed.). O'Reilly Media.
- MANZO, E. V.; MENDOZA, D. C. C.; RODRÍGUEZ, R. M. T.; GUTIÉRREZ, B. C. M. (2017). Diagnóstico de los modelos de gestión de inventarios de alimentos en empresas hoteleras. *Revista científica ecociencia*, 4(3), p. 28-51.
- MARTÍNEZ, J.; SUÁREZ, P. (2015). *Sistemas de identificación automática en logística: códigos de barras y aplicaciones*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2(26), p. 45–54.
- MORA, D.; RODRÍGUEZ, A.; MARTÍNEZ, L. (2021). Aplicación de machine learning en la optimización de inventarios. *Revista Colombiana de Ingeniería Industrial*, 17(1), p. 83–91.
- NAVARRETE, C. V.; GUTIÉRREZ, O. P. (2017). Métodos para mejorar la eficiencia en gestión de inventarios. *Revista Ciencia UNEMI*, 10(22), p. 29-38.
- PEDREGOSA, F.; VAROQUAUX, G.; GRAMFORT, A.; MICHEL, V.; THIRION, B.; GRISEL, O.; ... DUCHESNAY, É. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, p. 2825–2830.
- RIASCOS, J. A.; BRAVO, J. S.; GALVÁN, E. (2024). Estrategias basadas en inteligencia artificial para la gestión de inventarios. *Revista Tecnología en Marcha*, 37(6), p. 88–97. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i6.7271>
- SAKAKIBARA, S.; FLYNN, B. B.; SCHROEDER, R. G.; MORRIS, W. T. (1997). The impact of just-in-time manufacturing. *Management Science*, 43(9), p. 1246–1257. <https://doi.org/10.1287/mnsc.43.9.1246>
- SALAS-NAVARRO, K.; MAIGUEL-MEJÍA, H.; ACEVEDO-CHEDID, J. (2017). Metodología de gestión de inventarios en cadenas de suministro. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(2), p. 326-337.
- SERNA, D. A. A.; RIVERA, Y. M. L. (2018). Dinámica de sistemas en la gestión de inventarios. *Ingenierías USBMed*, 9(1), p. 75-85.
- SINGH, J.; SINGH, H. (2014). Kaizen philosophy: A review of literature. *IUP Journal of Operations Management*, 13(2), p. 17-36.
- SMOLA, A. J.; SCHÖLKOPF, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and Computing*, 14(3), 199–222.
- SUN, S.; ZHANG, J. (2019). Design of KPI systems for warehouse performance measurement. *Procedia Manufacturing*, 39, p. 1102–1109.
- VIEIRA, G. E.; LOURES, E. F. R. (2023). Digital performance indicators for smart manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126(1), p. 103–118.
- WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model

performance. *Climate Research*, 30(1), p. 79–82. Disponible en: <https://doi.org/10.3354/cr030079>

TESIS Y TRABAJOS ACADÉMICOS

- CASTRO, X.; VILLACRESES, B.; ZENK, Y.; GALIO, G. (2020). Automatización del proceso de tomas de inventarios a través de handhelds para la empresa Retail S.A. Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- DÍAZ ARRIETA, R. H.; ORTIZ VINUEZA, J. L. (2018). Desarrollo de una aplicación web y móvil para gestión de inventario y pedidos con servicios RESTful. Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- GALLARDO BELTRÁN, S. E. (2019). Gestión de inventario como herramienta de control en el sector público. Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato.
- GARRIDO VALDIVIEZO, M. A. (2020). Implementación de sistema de gestión de almacenes en empresa retail. Tesis de pregrado.
- GÉLVEZ, W. (2019). Diseño e implementación de un modelo de gestión de inventarios en Acciones & Servicios. Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana.
- GÓMEZ, R.; GUZMÁN, O. (2016). Desarrollo de un sistema de inventarios para el control de materiales. Tesis de pregrado, Universidad Libre.
- HERNÁNDEZ, F. (2020). *Aplicación de sensores IoT en la cadena de suministro para el control de inventarios*. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid.
- MOON, I.; WANG, F. (2018). Multi-objective optimization models for inventory management: A review. *European Journal of Operational Research*, 267(2), 399–414.
- OCAMPO, C. (2016). Sistema de gestión de compras, inventario y ventas en TECNO PC SYSTEM. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Pereira.
- PÉREZ ORTEGA, J. I. (2016). Sistema ERP para ECUATRAN S.A. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato.
- PIÑERO, J. C. M.; PEÑALOSA, L. R.; NAVARRO, G. (2019). Modelo de cantidad económica de pedido (EOQ) y descuento por cantidad. Trabajo académico, Universidad Sergio Arboleda.
- PULLA MOROCHO, C. A. (2020). Gestión de inventarios a través de clasificación ABC en empresas de materiales de construcción. Observatorio de la Economía Latinoamericana, (julio).
- SILVA GARCÍA, C. (2018). Gestión de almacenes con tecnología WMS. Trabajo académico.

NORMAS Y LEYES

- CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2009). Ley 1341 de 2009. Diario Oficial.

- CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2012). Ley estatutaria 1581 de 2012. Diario Oficial.
- SECRETARÍA DEL SENADO. (1971). Decreto 410 de 1971. Diario Oficial No. 33.339 del 16 de junio de 1971.
- NORMA INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN FINANCIERA (NIIF). (2019). NIIF 16: Arrendamientos. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cr/Documents/audit/documentos/niif-2019/NIIF%2016%20-%20Arrendamientos.pdf>
- NORMA INTERNACIONAL DE INFORMACIÓN FINANCIERA (NIIF). (2019). NIIF 2: Inventarios. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cr/Documents/audit/documentos/niif-2019/NIIF%2016%20-%20Arrendamientos.pdf>

FUENTES DIGITALES / PÁGINAS WEB

- MECALUX. (2024). Qué es la regresión lineal y cómo aplicarla en logística. Disponible en: <https://www.mecalux.com>
- VALERDAT. (2025). Árboles de decisión y boosting: técnicas avanzadas en predicción de datos. Disponible en: <https://www.valerdat.com>
- SLIMSTOCK. (2023). Aplicaciones de Random Forest en la optimización de inventarios. Disponible en: <https://www.slimstock.com>
- LEAFIO AI. (2025). Random Forest y su uso en la gestión predictiva de la demanda. Disponible en: <https://www.leafio.ai>

INFORMES Y DOCUMENTOS CORPORATIVOS

- VOLVO GROUP. (2022). Informe de sostenibilidad corporativa 2022. Disponible en: <https://www.volvogroup.com>