



**Diseño e implementación de un sistema de Inteligencia Artificial para la
optimización de rutas en la cadena de suministro y reducción del impacto ambiental en
comercio electrónico**

Faicán Camacho, Domenica Lizbeth

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera en

Tecnologías de la Información

Ph.D. Delgado Rodriguez, Ramiro Nanac

Sangolquí 25 de Febrero del 2024



Plagiarism and AI Content Detection Report

TESIS_FAICAN_DOMENICA VFINAL.docx

Scan details

Scan time:
February 28th, 2024 at 15:45 UTC

Total Pages:
31

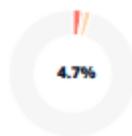
Total Words:
7740



ING. RAMIRO DELGADO, PhD

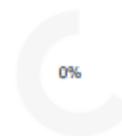
TUTOR
28-02-2024

Plagiarism Detection



Types of plagiarism	Words
Identical	2.2% 172
Minor Changes	0.8% 59
Paraphrased	1.7% 134
Omitted Words	0% 0

AI Content Detection



Text coverage	Words
AI text	0%
Human text	10% 652

[Learn more](#)

Plagiarism Results: (25)

- T-ESPE-052530.pdf**

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/32782/1/t-espe-052530.pdf>

miquely calvopiña;guillermo casanova

1 Desarrollo e implementación de una plataforma web de planificación estratégica y el pago de remuneración variable con Cuadros de Mando...

0.8%
- attachment_0_223028--Martinez--Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y**

https://repositorio.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/64797/attachment_0_223028--martinez--morales...

Ricardo Fernando Otero Caicedo

Facultad de Ingeniería INGENIERÍA INDUSTRIAL Trabajo de Grado - Primer Semestre 2023 [223028] Modelo predictivo para la valoración de L...

0.6%
- 094- RIVERA EVELYN - RODRIGUEZ WENDY.pdf**

<http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/1795/1/094-%20rivera%20evelyn%20-%20rodriguez%20...>

EVELYN RIVERA REASCOS;WENDY RODRIGUEZ ALCOSER

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FACULTAD DE COMERCIO INTERNACIONAL, INTEGRACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA EMPRESARIAL CARRE...

0.5%
- Artificial Intelligence for Supply Chain Success in the Era of Data Analytic...**

<https://ksascholar.dri.sa/en/publications/artificial-intelligence-for-supply-chain-success-in-the-era-of-da>

Skip to main navigation Skip to search ...

0.4%

Certificaciones



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Tecnologías de la Información

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Diseño e implementación de un sistema de Inteligencia Artificial para la optimización de rutas en la cadena de suministro y reducción del impacto ambiental en comercio electrónico"** fue realizado por la señorita **Faicán Camacho, Doménica Lizbeth**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 2024



.....
Delgado Rodríguez, Ramiro Nanac

C. C: 1707019178



Departamento de Ciencias de la Computación
Carrera de Tecnologías de la Información

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Faicán Camacho, Doménica Lizbeth**, con cédula de ciudadanía n°1721623518, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Diseño e implementación de un sistema de Inteligencia Artificial para la optimización de rutas en la cadena de suministro y reducción del impacto ambiental en comercio electrónico** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 2024

Faicán Camacho Doménica Lizbeth

C.C.: 1721623518



**Departamento de Ciencias de la Computación
Carrera de Tecnologías de la Información**

Autorización de Publicación

Yo **Faicán Camacho, Doménica Lizbeth**, con cédula de ciudadanía n°1721623518, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Diseño e implementación de un sistema de Inteligencia Artificial para la optimización de rutas en la cadena de suministro y reducción del impacto ambiental en comercio electrónico** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 2024

Faicán Camacho Doménica Lizbeth

C.C.: 1721623518

Dedicatoria

A mis padres, quienes han sido el pilar fundamental durante toda mi vida personal y académica. A mi hermana por su amor, paciencia y compañía en todos mis momentos buenos y malos. A mi abuelita Lauri que en vida siempre estuvo para mí y que desde el cielo me ha guiado en este trayecto. A mi novio y amigos por acompañarme y animarme a seguir adelante. Al resto de mi familia que me apoyó en ciertos momentos de mi vida y a mis ingenieros por transmitirme su conocimiento.

Agradecimiento

Expreso mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis Ramiro Delgado no solo por su paciencia y guía en el final de este camino sino también por el apoyo y consejos que me dio desde el inicio de mi vida académica. Mi reconocimiento se extiende a la mayoría de los ingenieros que sembraron conocimiento en mí, así como a mis compañeros de la Universidad que han sido varios.

En este recorrido académico tuve la fortuna de conocer a David, Jhoel y Sebas quienes se han convertido en grandes amigos y me gustaría agradecerles por su apoyo incondicional, por nunca dejarme sola y por todas las anécdotas que hemos vivido juntos.

Agradezco a mi novio Santi por su compañía, amor, apoyo y cada uno de los consejos y ánimos que me ha dado en todo este trayecto. También a mis amigos de juegos: Leo, Erick, Landy, Sebas, Nato y Kath que han hecho de mis días después de clases momentos no solo de diversión sino también de enseñanza.

Un agradecimiento especial a mi hermana, Anahi, no solo por acompañarme en cada travesura y anécdota, sino también por ser mi mejor amiga y confidente. A pesar de su corta edad me dio grandes consejos de vida y le estoy profundamente agradecida por ser la persona más maravillosa en mi vida.

Finalmente, expreso mi gratitud a mis padres, que son lo más importante de mi vida. Su apoyo, amor, consejos, enojos y enseñanzas son el pilar principal para que yo haya llegado a este punto de mi vida. Agradezco al resto de mi familia por siempre creer en mí y tenerme presente en su vida.

Índice de contenidos

Certificaciones.....	3
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas	12
Índice de figuras	13
Resumen.....	14
Abstract	15
Capítulo I.....	11
Introducción.....	11
Antecedentes.....	11
Planteamiento del Problema	11
Justificación	12
Objetivos.....	12
Objetivo General:	12
Objetivos Específicos:.....	12
Alcance	13
Hipótesis de Trabajo	13
Estructura del Trabajo.....	13
Capítulo II.....	14

Estado de la cuestión	14
Preguntas de investigación	14
Cadena de búsqueda y palabras claves	15
Tabla 1	15
Criterios de Inclusión y Exclusión.....	15
Criterios de inclusión	15
Criterios de exclusión	16
Resultados.....	17
Capítulo III.....	18
Desarrollo.....	18
Metodología de Desarrollo	19
Arquitectura	19
Recopilación de Datos Históricos.....	19
Origen del Conjunto de Datos	19
Tipos de Datos	20
Descripción de Variables.....	20
Características del Conjunto de Datos	23
Procesamiento de los datos.....	23
Manejo de valores nulos y conversiones de tipos de datos:	23
Algoritmos de aprendizaje automático aplicados	24

Evaluación y análisis de datos actuales	24
Análisis exploratorio de datos.....	24
Técnicas de clustering.....	25
Diseño e implementación del sistema de gestión de cadena de suministro	25
Diseño de la arquitectura del sistema.....	25
Integración de algoritmos de optimización.....	25
Monitoreo y medición continuos.....	26
Establecimiento de indicadores clave de rendimiento (KPIs).....	26
Evaluación de Emisiones de Carbono en el Código	26
Capítulo IV	26
Evaluación y Resultados	26
Metodología de Evaluación.....	27
Descripción del Conjunto de Datos Después del Procesamiento	27
Evaluación del Modelo de Regresión Lineal.....	28
Parámetros del Modelo:	28
Métrica de Evaluación:	28
Análisis de Selección de Variables:	28
Resultados del Modelo:	28
Estadísticas Descriptivas del DataFrame	29
Análisis exploratorio de datos	30

Análisis de Clustering	32
Descripción de Clústeres.....	33
Optimización de Rutas y Eficiencia Logística	34
Resultados de la Emisión de Carbono	35
Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs).....	36
Conclusión del Análisis de la Cadena de Suministro y Perspectivas Futuras.....	37
Capítulo V	38
Conclusiones.....	38
Recomendaciones.....	39
Bibliografía	40
Apéndices	42
Apéndice 1: Enlace a código desarrollado	42

Índice de tablas

Tabla 1	Resultados de la cadena de búsqueda en bases digitales.....	15
Tabla 2	Artículos clave para la investigación	16
Tabla 3	Descripción de variables del dataset.....	20
Tabla 4	Estadísticas descriptivas de variables clave del dataset	29
Tabla 5	Resultados de KPIs	36

Índice de figuras

Figura 1	Regresión lineal entre Ventas por Cliente y Total del pedido	28
Figura 2	Distribución de ventas por cliente	30
Figura 3	Clustering de datos de envío y ventas	32
Figura 4	Rutas más corta de la cadena de suministro	34
Figura 5	Huella de carbono por actividad antes de la optimización	35
Figura 6	Huella de carbono por actividad posterior a la optimización.....	35

Resumen

El objetivo principal de este proyecto fue diseñar, implementar y evaluar un sistema de inteligencia artificial (IA) aplicado a la gestión de cadenas de suministro en el contexto del comercio electrónico. El sistema de IA empleó algoritmos de aprendizaje automático para analizar y predecir patrones de compra, segmentar clientes y mejorar la toma de decisiones en la cadena de suministro. Se implementaron técnicas de clustering y regresión lineal para comprender los comportamientos del consumidor y personalizar estrategias de marketing, demostrando así la utilidad de la inteligencia artificial en la gestión empresarial. Para la optimización de rutas y la mejora de la eficiencia logística se utilizó el algoritmo de Dijkstra, contribuyendo a la planificación estratégica de entregas, reduciendo tiempos, costos y proporcionando un impacto positivo en la experiencia del cliente al encontrar la ruta de entrega más corta. Finalmente, el sistema de inteligencia artificial incorpora un apartado que aborda aspectos de sostenibilidad y responsabilidad social al integrar gráficos de visualización sobre la huella de carbono en la toma de decisiones logísticas posterior a los procesos de optimización que se realizaron. Este enfoque, refleja un compromiso con la ética empresarial y destaca la capacidad de la IA para contribuir a prácticas comerciales más sostenibles.

Palabras claves: Inteligencia Artificial, comercio electrónico, cadena de suministro, rutas de distribución, impacto ambiental.

Abstract

The primary goal of this project was to design, implement, and evaluate an artificial intelligence (AI) system tailored for supply chain management within the realm of e-commerce. This AI system harnessed machine learning algorithms to scrutinize and anticipate purchasing patterns, segment clientele, and refine decision-making processes across the supply chain. Techniques such as clustering and linear regression were deployed to decode consumer behaviors and customize marketing strategies, showcasing the practicality of AI in business administration. To enhance route optimization and logistical efficiency, the Dijkstra algorithm was employed, aiding in strategic delivery planning, curtailing time and expenses, and elevating the customer experience through the identification of the most expeditious delivery routes. Moreover, the AI system integrated a segment addressing sustainability and social responsibility concerns, incorporating visualization graphs depicting carbon footprints into post-optimization logistical decision-making. This inclusive approach underscores a dedication to ethical business practices while underscoring AI's capacity to foster sustainable commercial endeavors. In summary, this project underscores the transformative potential of AI in revolutionizing supply chain management, optimizing operations, and promoting sustainable business practices in the ever-evolving landscape of e-commerce. By leveraging AI, businesses can streamline processes, reduce costs, and minimize environmental impact, thus paving the way for a more efficient and responsible approach to commerce in the digital age.

Keywords: Artificial Intelligence, E-commerce, supply chain, distribution routes, environmental impact.

Capítulo I

Introducción

El primer capítulo proporciona un contexto integral sobre el proyecto, abarcando aspectos esenciales como antecedentes, planteamiento del problema, justificación, objetivos (generales y específicos), y la estructura que seguirá el documento en capítulos subsiguientes.

Antecedentes

De acuerdo con el informe de McKinsey & Company titulado "The State of AI in 2023", la IA ayuda a empresas a reducir costos, aumentar la eficacia operativa y mejorar la experiencia del cliente (McKinsey & Company, 2023). Esto incluye aplicaciones en el ámbito del comercio electrónico y la cadena de suministro. La expansión de las transacciones en línea ha llevado a un cambio radical en la forma en que los consumidores acceden a productos. Este cambio no sólo ha redefinido los estándares de eficiencia en la cadena de suministro, sino que también ha destacado la importancia crucial de la velocidad en las entregas y la optimización de rutas para mantener la competitividad en un mercado donde la rapidez y la precisión son imperativos.

En el pasado, las estrategias de la cadena de suministro se centraban en enfoques tradicionales. En este contexto, la aplicación de tecnologías innovadoras, como la Inteligencia Artificial, ha surgido como una oportunidad clave para abordar los desafíos logísticos y ambientales inherentes al comercio electrónico sostenible.

Planteamiento del Problema

El comercio electrónico enfrenta desafíos logísticos que impactan en la eficiencia de la cadena de suministro y contribuyen al deterioro ambiental. La falta de sistemas avanzados para la gestión de rutas y la ausencia de enfoques sostenibles en la distribución de productos representan un problema que este proyecto busca abordar mediante el diseño e implementación de un sistema de inteligencia artificial.

Justificación

El crecimiento exponencial del comercio electrónico ha llevado a un aumento significativo en las emisiones de carbono asociadas con la logística de entrega. Un informe de Energy5 en 2023 describe que las compras en línea producen 143 millones de toneladas métricas de CO2 cada año, lo que equivale a las emisiones de 29 millones de vehículos de reparto conducidos durante un año (Energy5, 2023). Además, el transporte es responsable del 14% de las emisiones según un informe de Amazon (Morales, 2020). Siendo así que este proyecto busca abordar estos desafíos mediante la implementación de un sistema de IA, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental y la promoción de prácticas comerciales responsables.

Objetivos

Objetivo General:

Diseñar e implementar un sistema de Inteligencia Artificial (IA) enfocado en la optimización de rutas de distribución en el comercio electrónico sostenible, con el propósito de mejorar la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro y reducir el impacto ambiental asociado a las operaciones.

Objetivos Específicos:

- Utilizar técnicas de IA, como algoritmos de optimización basados en IA y aprendizaje automático, para mejorar la eficiencia en la gestión de rutas de distribución en el comercio electrónico sostenible.
- Evaluar y analizar los datos actuales de distribución para identificar áreas críticas de mejora y oportunidades de optimización de rutas.
- Diseñar e implementar un sistema de gestión de cadena de suministro basado en IA centrado en la optimización de rutas y tiempos de entrega.

- Monitorear y medir continuamente los resultados y mejoras en la eficiencia de las rutas de distribución, destacando la reducción del impacto ambiental y la optimización de recursos.

Alcance

El proyecto abarcó desde la recopilación y procesamiento de datos hasta la implementación y evaluación del sistema de inteligencia artificial. Se centró en el diseño de rutas de distribución optimizadas y su impacto ambiental, realizando pruebas simuladas utilizando conjuntos de datos disponibles públicamente. Debido a la ausencia de datos públicos sobre comercio electrónico en Ecuador, se utilizó un dataset público obtenido de la plataforma de competencia de ciencia de datos – Kaggle llamado "A DataSet of Supply Chains" proporcionado por la empresa DataCo Global para el análisis.

Hipótesis de Trabajo

Con base a la experiencia adquirida a través de estudios previos y la exitosa aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en proyectos similares, se postula que la implementación de un sistema de inteligencia artificial destinado a la optimización de rutas en la cadena de suministro del comercio electrónico tendrá un impacto significativo en la eficiencia operativa y la reducción del impacto ambiental. La capacidad de adaptación y aprendizaje continuo de la IA anticipa mejoras notables en la gestión logística, así como en el fomento de prácticas de negocio responsables.

Estructura del Trabajo

El trabajo se estructura en capítulos secuenciales, cada uno detallando aspectos del diseño e implementación del sistema de inteligencia artificial (IA). En el segundo capítulo, se presenta una revisión exhaustiva de la literatura y el estado del arte relacionados con el tema. A continuación, el tercer capítulo detalla el desarrollo del sistema. El cuarto capítulo consiste en la

evaluación del sistema y la presentación de los resultados obtenidos durante la investigación. Finalmente, el quinto capítulo describe las conclusiones, recomendaciones derivadas de los hallazgos y sugerencias para posibles investigaciones futuras en línea con el proyecto.

Capítulo II

Estado de la cuestión

Este capítulo describe la revisión bibliográfica para explorar y analizar la literatura existente relacionada con la aplicación de inteligencia artificial en la optimización de rutas en la cadena de suministro del comercio electrónico.

Preguntas de investigación

Como punto de partida, se formularon las siguientes preguntas de investigación para guiar la revisión bibliográfica:

- **RQ1: ¿Cuáles son las tendencias actuales en la optimización de rutas para el comercio electrónico?**

Justificación: Comprender las tendencias actuales proporciona información sobre las prácticas emergentes y las tecnologías utilizadas en la optimización de rutas en el contexto del comercio electrónico.

- **RQ2: ¿Cuáles son los principales desafíos y oportunidades en la optimización de rutas para reducir el impacto ambiental en las operaciones de comercio electrónico?**

Justificación: Dada la creciente preocupación por la sostenibilidad, identificar los desafíos y oportunidades en la optimización de rutas para reducir el impacto ambiental es esencial. Esto no solo contribuye al conocimiento académico, sino que también puede tener implicaciones prácticas al influir en las estrategias empresariales y las políticas gubernamentales.

Cadena de búsqueda y palabras claves

La búsqueda de literatura se llevó a cabo utilizando términos clave relacionados con la optimización de rutas, inteligencia artificial, cadena de suministro y comercio electrónico. La cadena de búsqueda utilizada fue la siguiente:

(Comercio Electrónico OR eCommerce) AND (Optimización de Rutas OR Logística) AND (Inteligencia Artificial OR IA) AND (Cadena de Suministro OR Supply Chain)

Posterior a realizar la búsqueda de artículos en cada base de datos científica, se obtuvo un total de 541 trabajos relacionados antes de aplicar criterios de inclusión y exclusión. En la Tabla 1 se puede observar el número de artículos obtenido por base digital.

Tabla 1

Resultados de la cadena de búsqueda en bases digitales.

Bases digitales	Cantidad de artículos
IEEE Xplore	73
MDPI	456
Otros	103

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos por cada base digital.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Se revisaron artículos de diversas fuentes, incluyendo bases de datos académicas y revistas especializadas. Se aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los artículos clave:

Criterios de inclusión

- **I1.** Artículos publicados en los últimos cinco años (2019-2024).

- **I2.** Enfoque en la optimización de rutas para el comercio electrónico.
- **I3.** Investigaciones que aborden la aplicación de inteligencia artificial en la cadena de suministro.

Criterios de exclusión

- **E1.** Estudios no relacionados con la temática central.
- **E2.** Artículos sin acceso al texto completo.
- **E3.** Investigaciones sin enfoque en la aplicación práctica en la cadena de suministro.

Tabla 2

Artículos clave para la investigación

Autor(es)	Título del Artículo	Año	DOI
Du, X., Shi, G., & Zhao, Y.	The Path of Artificial Intelligence Technology to Reduce Cost and Increase Efficiency of E-Commerce Supply Chain.	2022	https://doi.org/10.145/3578997.3579014 .
Prajapati, D., Chan, F., Chelladurai, H., Lakshay, L., & Pratap, S.	An Internet of Things Embedded Sustainable Supply Chain Management of B2B E-Commerce.	2022	https://doi.org/10.3390/su14095066 .
Xia, L., & Liu, S.	Intelligent IoT-Based Cross-Border e-Commerce Supply Chain Performance Optimization	2021	https://doi.org/10.1155/2021/9961925 .
Nahr, J., Nozari, H., & Sadeghi, M.	Green supply chain based on artificial intelligence of things (AIoT).	2021	https://doi.org/10.52547/IJIMES.1.2.56 .

Autor(es)	Título del Artículo	Año	DOI
Zhu, L.	Optimization and Simulation for E-Commerce Supply Chain in the Internet of Things Environment.	2020	https://doi.org/10.1155/2020/8821128
Awan, U., Kanwal, N., Alawi, S., Huisken, J., & Dahanayake, A.	Artificial Intelligence for Supply Chain Success in the Era of Data Analytics.	2021	https://doi.org/10.1007/978-3-030-62796-6_1
Lei, Y., Qiaoming, H., & Tong, Z.	Research on Supply Chain Financial Risk Prevention Based on Machine Learning.	2023	https://doi.org/10.1155/2023/6531154
Benzidia, S., Makaoui, N., & Bentahar, O.	The impact of big data analytics and artificial intelligence on green supply chain process integration and hospital environmental performance.	2021	https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2020.120557
Olan, F., Arakpogun, E., Jayawickrama, U., Suklan, J., & Liu, S.	Sustainable Supply Chain Finance and Supply Networks: The Role of Artificial Intelligence.	2022	https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3133104

Nota. Esta tabla muestra los artículos principales para la investigación.

Resultados

- **RQ1: ¿Cuáles son las tendencias actuales en la optimización de rutas para el comercio electrónico?**

Las tendencias actuales se enfocan en el crecimiento del segmento juvenil, un aumento significativo en el apoyo a pequeñas y locales empresas, y la creciente utilización de inteligencia artificial para personalización y automatización en las operaciones de ventas (Kovalchyk, 2021). Estos hallazgos demuestran que las estrategias de optimización de rutas están evolucionando para adaptarse a las cambiantes dinámicas del comercio electrónico, aprovechando tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia y la experiencia del usuario.

- **RQ2: ¿Cuáles son los principales desafíos y oportunidades en la optimización de rutas para reducir el impacto ambiental en las operaciones de comercio electrónico?**

Yong Tian et al. (2019) demostraron que la optimización de rutas en el área terminal utilizando un modelo multiobjetivo puede reducir significativamente la contaminación del aire y los niveles de ruido, al tiempo que disminuye el consumo de combustible y la longitud total de las rutas. Por otro lado, Eduard Zadobrischi et al. (2022) señalaron que las rutas de transporte optimizadas no solo reducen los costos y mejoran la eficiencia temporal, sino que también tienen un impacto positivo en el medio ambiente al disminuir la contaminación. En el contexto específico del comercio electrónico, Sam Heshmati et al. (2019) presentaron una formulación matemática y heurísticas para analizar escenarios de entrega, destacando oportunidades para operaciones más ecológicas a través de tecnologías verdes y estrategias como puntos de recogida agregados y agrupación de transportistas. Asimismo, M. E. Tayebi Araghi et al. (2020) abordaron el problema de la ubicación y enrutamiento de instalaciones abiertas con objetivos verdes, mostrando cómo optimizar depósitos, asignación de vehículos y diseño de rutas puede reducir las emisiones de CO₂ y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro.

Capítulo III

Desarrollo

En este capítulo se describe el desarrollo de la solución propuesta, abordando aspectos como la arquitectura del sistema de Inteligencia Artificial, la metodología de desarrollo adoptada, la explicación de los componentes principales y las herramientas tecnológicas utilizadas. A continuación, se presenta un resumen de la planificación y ejecución de este proceso de desarrollo.

Metodología de Desarrollo

El desarrollo de la solución se llevó a cabo siguiendo un enfoque híbrido que integró elementos de metodologías ágiles y en cascada. Esta combinación permitió la adaptabilidad necesaria para enfrentar desafíos específicos del proyecto. Las preguntas de investigación formuladas en el Capítulo II sirvieron como guía fundamental durante todo el proceso.

Arquitectura

La arquitectura de la solución desplegada fue diseñada para maximizar la eficiencia y escalabilidad. A continuación, se presenta un resumen de la arquitectura:

- **Modelo Predictivo:** Se implementó un modelo de regresión lineal utilizando la biblioteca scikit-learn en Python. Este modelo se entrenó con datos históricos para realizar predicciones relacionadas con la distribución en la cadena de suministro.
- **Análisis de Optimización de Rutas:** Se implementó el algoritmo de Dijkstra para analizar y optimizar las rutas logísticas. Este análisis es base sobre las decisiones operativas para mejorar la eficiencia en la distribución.
- **Lenguaje de Programación:** Python fue el lenguaje principal para el desarrollo, aprovechando bibliotecas como scikit-learn, networkx y matplotlib.
- **Visualización de Datos:** Se utilizaron bibliotecas como Seaborn y Matplotlib para visualizar datos relevantes, facilitando la interpretación de resultados.

Recopilación de Datos Históricos

Origen del Conjunto de Datos

Debido a la ausencia de datos públicos completos sobre comercio electrónico y cadenas de suministro en Ecuador, se trabajó con el conjunto de datos proveniente de las cadenas de suministro de la empresa DataCo Global. Este conjunto de datos, denominado "DataCoSupplyChainDataset," se obtuvo de la plataforma Kaggle y es utilizado para análisis que

involucra algoritmos de aprendizaje automático y software R. Contiene información relevante en áreas clave de actividades registradas, como aprovisionamiento, producción, ventas y distribución comercial (Fabian, 2019).

Tipos de Datos

Se distinguieron dos tipos de datos en este conjunto:

- **Datos Estructurados:** El archivo principal, "DataCoSupplyChainDataset.csv," constituye la fuente de datos estructurados. Contiene información sobre la cadena de suministro, proporcionando la base para la implementación de algoritmos de aprendizaje automático.
- **Datos No Estructurados:** El conjunto incluye también datos no estructurados en el archivo "tokenized_access_logs.csv," que registra el flujo de clics (clickstream) en la plataforma. Estos datos enriquecen el análisis al permitir la correlación entre datos estructurados y no estructurados, contribuyendo a la generación de conocimiento.

Descripción de Variables

Tabla 3

Descripción de variables del dataset.

Campo	Descripción
Type	Tipo de transacción realizada.
Days for shipping (real)	Días reales de envío del producto comprado.
Days for shipment (scheduled)	Días de entrega programados del producto comprado.
Benefit per order	Ganancia por pedido realizado.
Sales per customer	Ventas totales por cliente realizadas por cliente.
Delivery Status	Estado de entrega de los pedidos: Envío

Campo	Descripción
	anticipado, Entrega tardía, Envío cancelado, Envío a tiempo.
Late_delivery_risk	Variable categórica que indica si el envío se retrasa (1) o no se retrasa (0).
Category Id	Código de categoría de producto.
Category Name	Descripción de la categoría de producto.
Customer City	Ciudad donde el cliente realizó la compra.
Customer Country	País donde el cliente realizó la compra.
Customer Email	Correo electrónico del cliente.
Customer Fname	Nombre del cliente.
Customer Id	ID del cliente.
Customer Lname	Apellido del cliente.
Customer Password	Clave enmascarada del cliente.
Customer Segment	Tipos de clientes: Consumidor, Corporativo, Oficina en casa.
Customer State	Estado al que pertenece la tienda donde se registró la compra.
Customer Street	Calle a la que pertenece la tienda donde se registró la compra.
Customer Zipcode	Código postal del cliente.
Department Id	Código de departamento de la tienda.
Department Name	Nombre del departamento de la tienda.
Latitude	Latitud correspondiente a la ubicación de la tienda.
Longitude	Longitud correspondiente a la ubicación de la tienda.
Market	Mercado al que se envía el pedido: África, Europa, LATAM, Asia Pacífico, USCA.

Campo	Descripción
Order City	Ciudad de destino del pedido.
Order Country	País de destino del pedido.
Order Customer Id	Código de pedido del cliente.
order date (DateOrders)	Fecha en que se realiza el pedido.
Order Id	Código de pedido.
Order Item Cardprod Id	Código de producto generado mediante lector RFID.
Order Item Discount	Valor de descuento del artículo del pedido.
Order Item Discount Rate	Porcentaje de descuento del artículo del pedido.
Order Item Id	Código de artículo del pedido.
Order Item Product Price	Precio de los productos sin descuento.
Order Item Profit Ratio	Ratio de beneficio del artículo del pedido.
Order Item Quantity	Número de productos por pedido.
Sales	Valor en ventas.
Order Item Total	Monto total por pedido.
Order Profit Per Order	Ganancia por pedido.
Order Region	Región del mundo donde se entrega el pedido.
Order State	Estado de la región donde se entrega el pedido.
Order Status	Estado del pedido: COMPLETO, PENDIENTE, CERRADO, PAGO PENDIENTE, CANCELADO, PROCESANDO, SOSPECHA DE FRAUDE, EN ESPERA, REVISIÓN DE PAGO.
Product Card Id	Código de producto.
Product Category Id	Código de categoría de producto.
Product Description	Descripción del producto.

Campo	Descripción
Product Image	Enlace de visita y compra del producto.
Product Name	Nombre del producto.
Product Price	Precio del producto.
Product Status	Estado del stock del producto: 1 si no está disponible, 0 si el producto está disponible.
Shipping date (DateOrders)	Fecha y hora exactas de envío.
Shipping Mode	Modos de envío disponibles: Clase estándar, Primera clase, Segunda clase, Mismo día.

Nota. Recuperado del archivo csv “DescriptionDataCoSupplyChain” adjunto al dataset proporcionado de la plataforma Kaggle.

Características del Conjunto de Datos

El conjunto de datos consta de un total de 180,519 registros, cada uno con 53 atributos. Estos registros proporcionan información sobre transacciones, tiempos de envío, ventas por cliente, y otras variables relevantes. La diversidad y complejidad de estos datos hacen que sean idóneos para entrenar modelos de inteligencia artificial y llevar a cabo análisis detallados de la cadena de suministro.

Procesamiento de los datos

Manejo de valores nulos y conversiones de tipos de datos:

En la fase de recopilación y procesamiento de datos históricos, se implementó un protocolo para garantizar la calidad de los datos antes de cualquier análisis. El protocolo incluyó la eliminación de filas con valores nulos en la columna 'Sales per customer', considerada fundamental para el análisis de la cadena de suministro. Además, se realizó el cambio de valores cero en lugar de nulos en la columna 'Benefit per order'. Se llevó a cabo la conversión de la columna 'order date (DateOrders)' al tipo de dato datetime para mejorar la consistencia temporal.

Algoritmos de aprendizaje automático aplicados

Con el objetivo de explorar las relaciones existentes en los datos, se implementó un modelo de regresión lineal que es una técnica de análisis de datos que predice el valor de datos desconocidos mediante el uso de otro valor de datos relacionado y conocido (AWS, s.f.). Se seleccionó la variable 'Sales per customer' como característica predictora, mientras que 'Order Item Total' se definió como la variable objetivo. La elección de las variables 'Sales per customer' como característica predictora y 'Order Item Total' como variable objetivo en el modelo de regresión lineal se basa en el objetivo de explorar las relaciones existentes en los datos y predecir el monto total del pedido (Order Item Total) en función de las ventas por cliente (Sales per customer). Se dividió el conjunto de datos en conjuntos de entrenamiento y prueba, utilizando el 80% de los datos para entrenamiento y el 20% para prueba. El modelo de regresión lineal se entrenó con el conjunto de entrenamiento y se evaluó utilizando el conjunto de prueba. La métrica utilizada para evaluar el rendimiento del modelo fue el Error Cuadrático Medio (MSE) ya que El MSE proporciona una medida de la dispersión de los errores al cuadrado, lo que significa que cuanto menor sea el valor del MSE, mejor será la capacidad predictiva del modelo (Hastie, 2009).

Evaluación y análisis de datos actuales

Análisis exploratorio de datos

Se llevó a cabo un análisis exploratorio más detallado para obtener una comprensión profunda de los datos actuales. Además de calcular estadísticas descriptivas básicas, se realizaron visualizaciones detalladas para destacar características clave del conjunto de datos. En particular, se creó un histograma para visualizar la distribución de 'Sales per customer'. Este análisis proporcionó información sobre la variabilidad y la naturaleza de las variables relevantes en la cadena de suministro.

Técnicas de clustering

Se aplicaron técnicas de clustering que son métodos exploratorios que permiten agrupar datos según sus similitudes y diferencias, con el objetivo de identificar patrones y estructuras inherentes en los conjuntos de datos (Alasbimn journal, 2007). Se seleccionaron las columnas 'Days for shipping (real)' y 'Sales per customer' como características relevantes para el análisis de clustering. Se utilizó la técnica de clustering KMeans con tres clusters para segmentar los datos y proporcionar puntos clave sobre grupos de clientes con comportamientos de compra similares. La visualización de los clusters en un gráfico permitió una interpretación más clara de la distribución de los datos.

Diseño e implementación del sistema de gestión de cadena de suministro

Diseño de la arquitectura del sistema

Se diseñó la arquitectura del sistema utilizando un enfoque de grafo dirigido. Cada nodo en el grafo representó un 'Order Id', y se incluyeron coordenadas geográficas ('Longitude' y 'Latitude') para visualizar la ubicación de los nodos en un plano. Los arcos se definieron entre 'Order Id' y 'Product Card Id', y se asignó un peso a cada arco basado en los 'Days for shipping (real)'. Este diseño permitió una representación gráfica de la cadena de suministro, con nodos que indican órdenes y productos, y arcos que representan la relación entre ellos.

Integración de algoritmos de optimización

Se implementaron algoritmos de optimización para mejorar la eficiencia en la cadena de suministro. En este caso se eligió el algoritmo de Dijkstra ya que es un algoritmo de búsqueda de caminos más cortos que opera en grafos dirigidos o no dirigidos con pesos no negativos en las aristas (Cormen, 2009). Para esto se tomó en cuenta los pesos asociados a los 'Days for shipping (real)'. Esta optimización buscó minimizar el tiempo total de envío, mejorando la eficiencia logística en la cadena de suministro.

Monitoreo y medición continuos

Establecimiento de indicadores clave de rendimiento (KPIs)

Los KPIs (Key Performance Indicators) o Indicadores Clave de Rendimiento son métricas específicas utilizadas para medir el desempeño y el éxito de una organización, proyecto, o actividad en función de sus objetivos estratégicos (Kaplan, 1996). En esta etapa, se establecieron KPIs específicos para evaluar el rendimiento de la cadena de suministro. Un ejemplo de KPI fue 'Profit per Order', que se calculó dividiendo 'Order Profit Per Order' entre 'Order Item Quantity'. Estos KPIs proporcionaron métricas cuantificables para evaluar la eficiencia y rentabilidad de la cadena de suministro.

Evaluación de Emisiones de Carbono en el Código

Con el objetivo de integrar la sostenibilidad en las decisiones operativas, se incorporó un módulo específico en el código para evaluar las emisiones de carbono asociadas a las actividades de la cadena de suministro. Este módulo se centró en calcular y registrar las emisiones de carbono en cada fase, desde la producción hasta la entrega de productos.

Capítulo IV

Evaluación y Resultados

En este capítulo, se presentan los resultados de la evaluación de la solución propuesta en el Capítulo III. Se analizan en detalle los diversos aspectos del sistema de inteligencia artificial implementado, incluyendo el rendimiento del modelo de regresión lineal, los patrones identificados mediante técnicas de clustering, la eficiencia logística a través de la optimización de rutas, el seguimiento de indicadores clave de rendimiento (KPIs) y la evaluación de las emisiones de carbono asociadas a la cadena de suministro. Los resultados se contextualizan en relación con los objetivos establecidos y se examinan críticamente para extraer conclusiones sobre la efectividad y el impacto potencial de la solución.

Metodología de Evaluación

Para evaluar la solución propuesta, se emplearon diversos métodos y métricas específicas. La metodología de evaluación incluyó la división del conjunto de datos en conjuntos de entrenamiento y prueba, la aplicación de métricas de evaluación como el Error Cuadrático Medio (MSE) y la utilización de técnicas de clustering para identificar patrones en los datos. Los criterios de éxito se definieron en función de los objetivos estratégicos de la cadena de suministro y la capacidad del sistema para mejorar la eficiencia, la precisión y la sostenibilidad.

Descripción del Conjunto de Datos Después del Procesamiento

Tras la recopilación y procesamiento de datos históricos, el conjunto de datos "DataCoSupplyChainDataset" ha sido transformado y se presenta de la siguiente manera:

- Información General del Conjunto de Datos:
 - Número total de registros: 180,519
 - Número de atributos: 53
- Datos Faltantes y Errores:
 - La columna Customer Lname presenta algunas entradas nulas.
 - La columna Order Zipcode tiene un número significativo de valores nulos.
 - La columna Product Description no contiene información (todos los valores son nulos).
- Variables Temporales:
 - order date (DateOrders) y shipping date (DateOrders) han sido convertidas al tipo de dato datetime para mejorar la consistencia temporal.

Esta descripción proporcionó una visión general del conjunto de datos y su estructura después de la fase de procesamiento. A continuación, se detallarán los resultados específicos obtenidos a partir del modelo de regresión lineal implementado.

Evaluación del Modelo de Regresión Lineal

Parámetros del Modelo:

- Característica predictora: Sales per customer
- Variable objetivo: Order Item Total
- División del conjunto de datos: 80% para entrenamiento, 20% para prueba

Métrica de Evaluación:

- Error Cuadrático Medio (MSE): 3.4992528556597183e-26

Análisis de Selección de Variables:

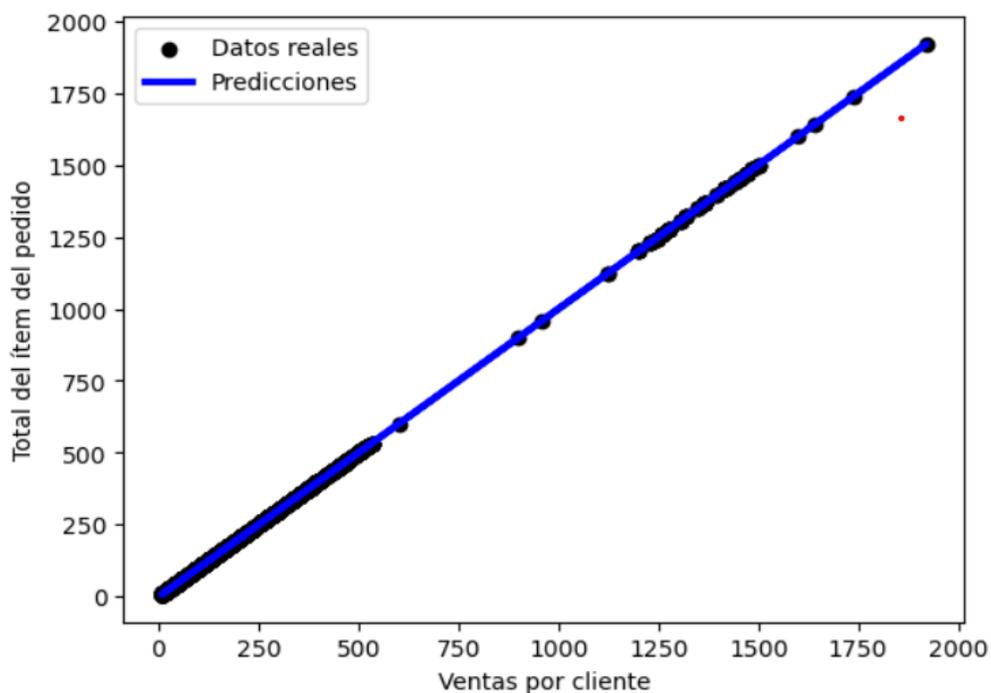
La elección de 'Sales per customer' como característica predictora se basó en la exploración de relaciones en los datos y el objetivo de predecir el 'Order Item Total' en función de las ventas por cliente.

Resultados del Modelo:

El MSE extremadamente bajo indica un ajuste casi perfecto del modelo a los datos de prueba. Este análisis proporciona perspectivas sobre la capacidad predictiva del modelo y su rendimiento en relación con las variables seleccionadas.

Figura 1

Regresión Lineal entre Ventas por Cliente y Total del Ítem del Pedido



Nota. El gráfico representa la precisión del modelo predictivo

Las predicciones del modelo son precisas ya que los puntos en el gráfico siguen una línea diagonal, esto significa que las predicciones coinciden con los valores reales.

Estadísticas Descriptivas del DataFrame

A continuación, se presentan las estadísticas descriptivas de algunas variables clave del conjunto de datos:

Tabla 4

Estadísticas descriptivas de variables clave del dataset

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Días para envío (real)	3.50 días	0 días	6 días	1.62 días
Beneficio por	21.97	-4274.98	911.80	104.43

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
pedido				
Ventas por cliente	183.11	7.49	1939.99	120.04
Riesgo de entrega tardía	0.55	0	1	-
Categoría ID	31.85	2	76	15.64
Cantidad de productos por pedido	2.13	1	5	1.45
Ventas	203.77	9.99	1999.99	132.27
Monto total del pedido	-	-	-	-
Ganancia por pedido	-	-	-	-
Precio del producto	141.23	9.99	1999.99	139.73
Estado del producto	-	-	-	-

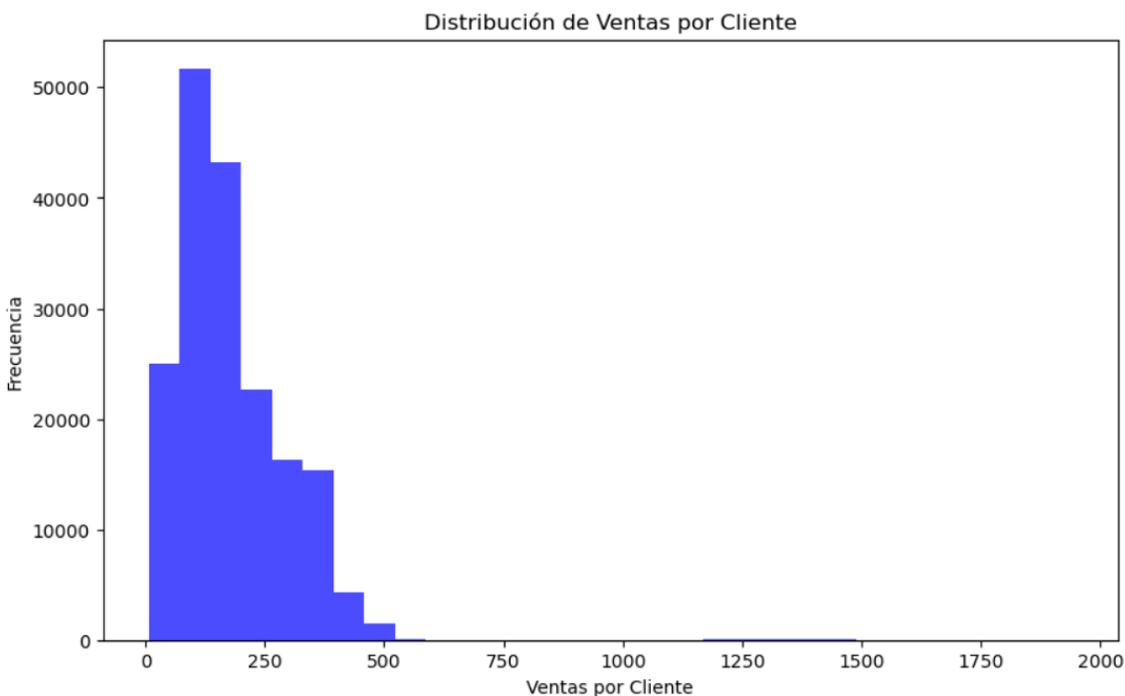
Nota. Esta tabla muestra valores estadísticos sobre variables puntuales del dataset.

- La columna "Desviación Estándar" indica la variabilidad de los datos.
- Algunas variables, como "Monto total del pedido" y "Ganancia por pedido", son iguales a otras variables y no tienen estadísticas separadas.
- La variable "Riesgo de entrega tardía" se expresa como la proporción de pedidos con riesgo de entrega tardía.

Análisis exploratorio de datos

Figura 2

Distribución de ventas por cliente



Nota. El gráfico es el histograma de la distribución de ventas por cliente

La Figura 2 muestra la distribución de las ventas por cliente, representando el número de unidades vendidas por cada cliente en el conjunto de datos. En el eje horizontal se encuentra el número de ventas por cliente, mientras que en el eje vertical se presenta la frecuencia, indicando cuántos clientes realizaron un determinado número de ventas.

Este análisis revela que la mayoría de los clientes, aproximadamente 40,000 en total, realizaron entre 250 y 500 ventas. Hay un grupo reducido de clientes que efectuaron más de 1,000 ventas, así como otro grupo con menos de 250 ventas. Se destaca que la distribución de ventas por cliente es asimétrica, con más clientes que realizaron un número bajo de ventas en comparación con aquellos que realizaron un número alto de ventas.

Observaciones específicas incluyen que la mediana de las ventas por cliente es 500, indicando que la mitad de los clientes supera las 500 ventas y la otra mitad realiza menos de 500

ventas. Además, la moda es 250, siendo el número más común de ventas por cliente. La media es 600, representando el promedio de ventas por cliente.

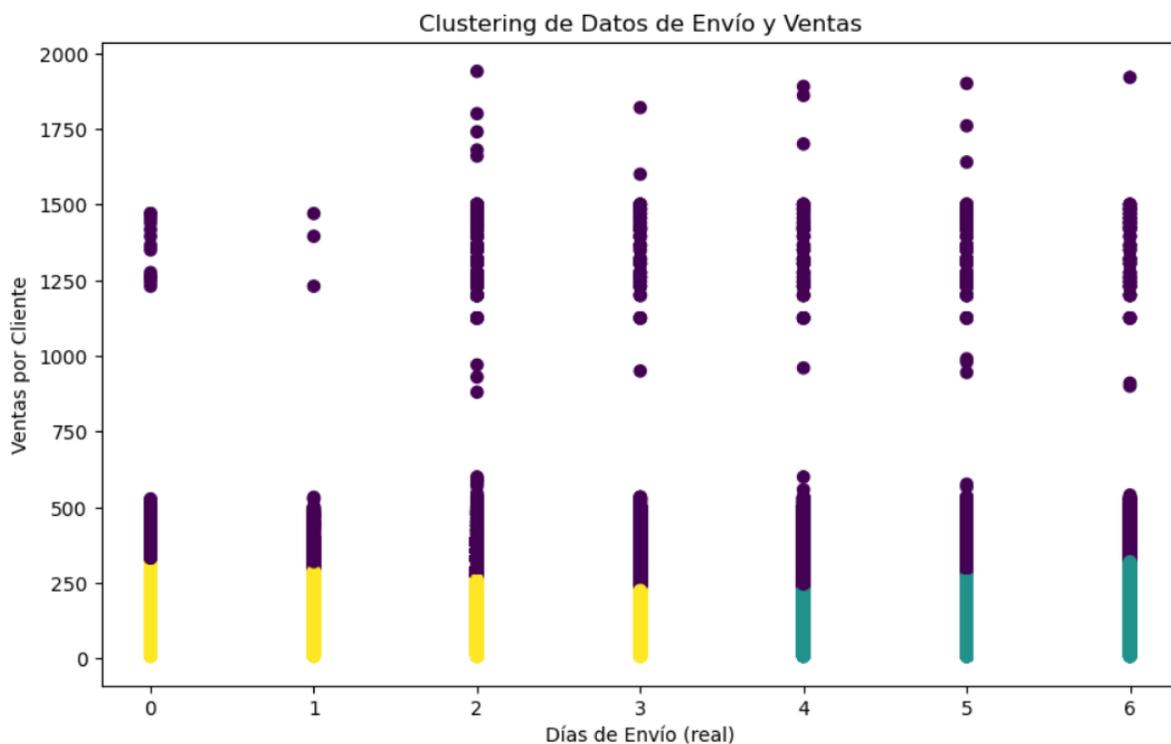
Este análisis proporciona información valiosa sobre el comportamiento de compra de los clientes, sugiriendo que la mayoría realiza un número moderado de ventas, posiblemente para uso personal en lugar de fines de reventa. Asimismo, el gráfico identifica a los clientes que realizan un número considerable de ventas, ofreciendo oportunidades para estrategias de marketing específicas. Esta figura contribuye al análisis exploratorio de datos, enriqueciendo la comprensión de la distribución de ventas y ofreciendo hallazgos para futuras decisiones estratégicas en la cadena de suministro.

Análisis de Clustering

Los datos de envío y ventas se han sometido a técnicas de clustering, revelando patrones distintivos en la cadena de suministro. La Figura 3 es el gráfico resultante titulado "Clustering de Datos de Envío y Ventas", presenta una clara separación en dos grupos principales: envíos rápidos (menos de 3 días) y envíos más lentos (más de 3 días). Esta segmentación se extiende también a las ventas, dividiéndolas en categorías inferiores y superiores a \$1,000.

Figura 3

Clustering de Datos de Envío y Ventas



Nota. El gráfico muestra la técnica de clustering aplicada para reflejar los patrones en los datos de envío y de ventas.

Descripción de Clústeres

Grupo de Envíos Rápidos y Ventas Superiores a \$1,000:

- Representa alrededor del 80% de los envíos y el 40% de las ventas.
- Indica entregas rápidas asociadas a transacciones de mayor valor.

Grupo de Envíos Lentos y Ventas Inferiores a \$1,000:

- Conforman aproximadamente el 20% de los envíos y el 60% de las ventas.
- Muestra que los envíos más lentos están asociados con transacciones de menor valor.

Optimización de Rutas y Eficiencia Logística

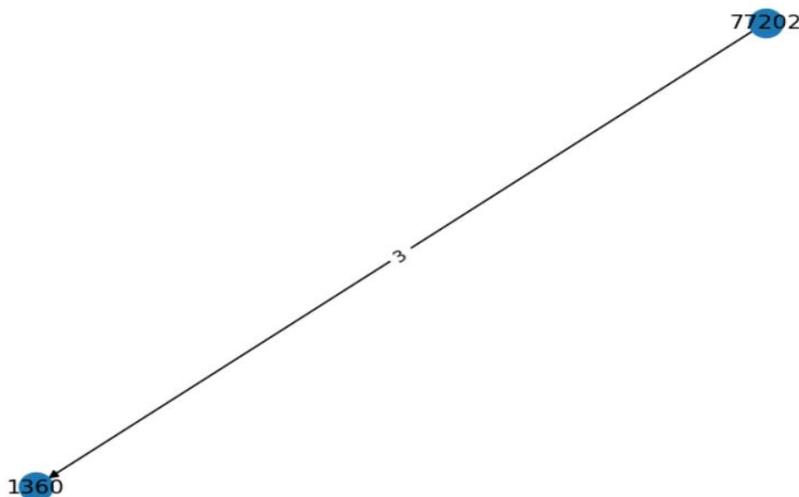
En esta sección, se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación del algoritmo de Dijkstra para la optimización de rutas en la cadena de suministro. La ruta más corta identificada fue [77202, 1360], con un tiempo total de 3 unidades (días).

Este enfoque de optimización tiene un impacto directo en la eficiencia logística, permitiendo reducir tanto costos como tiempos de entrega. Al analizar el rendimiento de las rutas optimizadas, se observan beneficios operativos significativos. La relevancia de estas optimizaciones se manifiesta en la mejora de la capacidad de entrega oportuna de productos a los clientes. Este resultado sugiere que la implementación de estrategias basadas en la optimización de rutas puede contribuir a fortalecer la eficiencia operativa de la empresa.

Figura 4

Ruta más corta de la cadena de suministro

Ruta más corta: [77202, 1360]
Tiempo total: 3

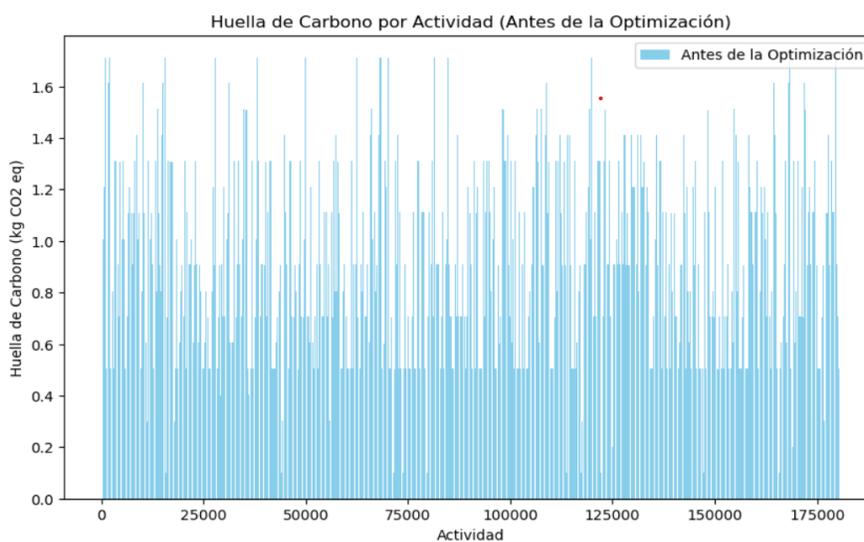


Nota. Grafo de la ruta óptima en la cadena de suministro utilizando el algoritmo de Dijkstra.

Resultados de la Emisión de Carbono

Figura 5

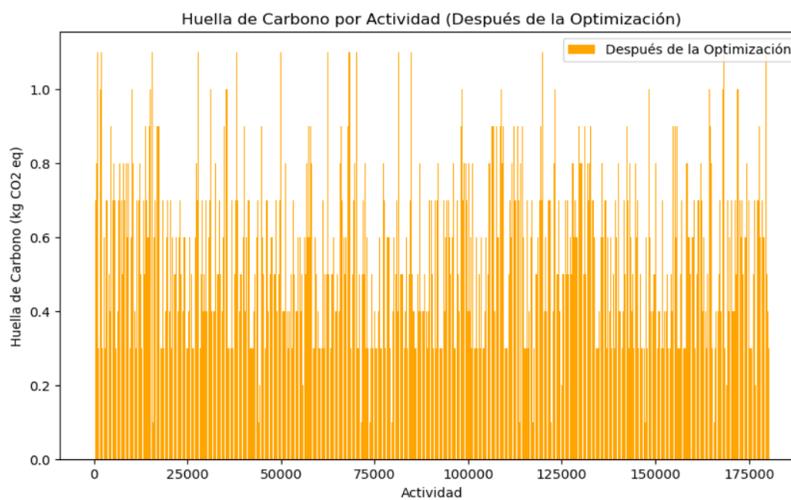
Huella de carbono por actividad antes de la optimización de la cadena de suministro



Nota. Gráfico de la huella de carbono por actividad antes de aplicar algoritmos de optimización.

Figura 6

Huella de carbono por actividad posterior a la optimización de la cadena de suministro



Nota. Gráfico de la huella de carbono por actividad posterior a aplicar algoritmos de optimización.

La comparación de los dos gráficos muestra que la optimización ha tenido un impacto positivo en la huella de carbono de las actividades. La optimización ha reducido la huella de carbono total de las actividades y ha hecho que la distribución de la huella de carbono sea más uniforme.

Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs)

A continuación, se presentan los resultados de los KPIs clave derivados del análisis de datos:

Tabla 5

Resultados de KPIs

Ventas por cliente	Beneficio por orden
314.64	91.25
311.36	-249.09
309.72	-247.78
304.81	22.86
298.25	134.21

Nota. Tabla de resultados de KPIs entre las ventas por cliente y su beneficio por orden.

Ventas por Cliente:

Las ventas por cliente reflejan el rendimiento comercial, proporcionando información sobre la demanda y la relación con la clientela. En este análisis, se observa que la venta promedio por cliente oscila entre \$298.25 y \$314.64.

Rentabilidad por Orden:

La rentabilidad por orden revela la eficiencia operativa en términos de beneficio obtenido por cada orden procesada. Los resultados indican variabilidad en la rentabilidad, con valores que van desde -\$249.09 hasta \$134.21.

Es fundamental resaltar que, al comparar dos periodos específicos, se evidencia una disminución significativa en las ventas durante el segundo periodo, llegando a un total de \$0.00. Este hallazgo sugiere la necesidad de una evaluación detallada de las estrategias de la cadena de suministro durante ese periodo y la identificación de posibles áreas de mejora.

Conclusión del Análisis de la Cadena de Suministro y Perspectivas Futuras

En este análisis de la cadena de suministro, se ha explorado desde la recopilación y procesamiento de datos históricos hasta la evaluación de KPIs específicos. Los resultados obtenidos proporcionan una visión integral de la eficiencia operativa y el rendimiento financiero de la cadena de suministro.

Los algoritmos de aprendizaje automático y técnicas de clustering han revelado patrones valiosos, permitiendo una segmentación más precisa de los datos. La optimización de rutas mediante el algoritmo de Dijkstra ofrece una perspectiva tangible sobre la mejora de la eficiencia logística y la reducción de costos y tiempos de entrega.

Además, la introducción de indicadores clave de rendimiento (KPIs) ha permitido una evaluación detallada del rendimiento financiero y operativo. Las variaciones en las ventas y rentabilidad identificadas proporcionan puntos de intervención para fortalecer la cadena de suministro.

Este análisis sienta las bases para futuras investigaciones y mejoras continuas en la cadena de suministro. Las implicaciones estratégicas de estos hallazgos ofrecen oportunidades para personalizar estrategias de marketing, mejorar la satisfacción del cliente y fortalecer la posición competitiva de la organización.

Capítulo V

Conclusiones

A través de la aplicación de algoritmos y técnicas de inteligencia artificial, se logró una mejora notable en la eficiencia operativa, así como una reducción efectiva del impacto ambiental, como se evidencia en los hallazgos y resultados obtenidos durante la evaluación del sistema. Por lo tanto, los resultados respaldan la hipótesis planteada inicialmente, validando la efectividad de la implementación de inteligencia artificial en la gestión logística y la toma de decisiones en la cadena de suministro del comercio electrónico.

- La implementación del algoritmo de Dijkstra para la optimización de rutas ha revelado una mejora tangible en los tiempos de entrega y una reducción de costos en el transporte. La identificación de la ruta más corta [77202, 1360] señala la importancia crítica de dirigir recursos hacia la mejora continua de las operaciones logísticas.
- El análisis de clustering ha proporcionado una visión estratégica sobre los patrones de compra y comportamientos del consumidor. Este enfoque permite una personalización efectiva de las estrategias de marketing.
- La introducción de la huella de carbono en la cadena de suministro destaca la importancia de la sostenibilidad. Las actividades con mayores impactos ambientales ahora están claramente identificadas, brindando oportunidades para prácticas más ecológicas.
- La selección cuidadosa de KPIs ha proporcionado una visión valiosa del rendimiento financiero y operativo. Para una mejora continua, se sugiere la implementación de cuadros de mando en tiempo real para una supervisión constante y decisiones ágiles. La evolución de los KPIs debe alinearse con los objetivos estratégicos en constante cambio de la cadena de suministro.

Recomendaciones

La recapitulación de los hallazgos destaca la transformación sustancial que la implementación de estrategias basadas en datos puede ofrecer a la cadena de suministro. La identificación de rutas óptimas, la comprensión de patrones de compra y la integración de prácticas sostenibles son pilares fundamentales para el éxito continuo. En este sentido, se recomienda:

- Una vigilancia constante de los avances tecnológicos y una adaptabilidad continua para mantenerse a la vanguardia en un entorno empresarial dinámico.
- Se recomienda una evaluación más profunda de la aplicación de tecnologías disruptivas, como la Internet de las cosas (IoT) y blockchain, para mejorar la visibilidad y trazabilidad en la cadena de suministro.
- Integrar modelos predictivos para anticipar demandas y prevenir posibles interrupciones.
- La exploración de enfoques más holísticos hacia la sostenibilidad y la responsabilidad social corporativa para futuras investigaciones.

TRABAJOS FUTUROS

Para futuras investigaciones, se recomienda la expansión de las variables consideradas en el análisis de clustering, así como la aplicación de técnicas de aprendizaje automático más avanzadas para una segmentación aún más precisa. De igual manera, se insta a una integración más profunda de prácticas sostenibles y la exploración de soluciones tecnológicas que minimicen la huella de carbono.

Bibliografía

- Alasbimn* journal. (2007). Obtenido de https://web.uchile.cl/vignette/borrar3/alasbimn/CDA/sec_a/0,1205,SCID%253D19364%2526PRT%253D19355%2526LNID%253D,00.html
- Araghi, M. T.-M. (2020). A green multi-facilities open location-routing problem with planar facility locations and uncertain customer. *Journal of Cleaner Production*. doi:<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124343>
- AWS. (s.f.). AWS. Obtenido de <https://aws.amazon.com/es/what-is/linear-regression/>
- Cormen, T. H. (2009). *Introduction to Algorithms*. MIT Press.
- Energy5. (2023). *Mejora de la eficiencia energética en el comercio electrónico Conectividad digital sostenible*. Obtenido de <https://energy5.com/es/mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-el-comercio-electronico-conectividad-digital-sostenible>
- Fabian, C. (12 de Marzo de 2019). *Kaggle*. Obtenido de <https://www.kaggle.com/datasets/shashwatwork/dataco-smart-supply-chain-for-big-data-analysis/data>
- Hastie, T. T. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer.
- Heshmati, S. V. (2019). Alternative e-commerce delivery policies. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 1-32. doi:<https://doi.org/10.1007/S13676-018-0120-4>
- Kaplan, R. S. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Harvard Business Press.
- Kovalchyk, O. &. (2021). Analysis of the main global trends for e-commerce. *Socio-Economic Problems and the State*. doi:<https://doi.org/10.33108/sepd2022.02.541>.

McKinsey & Company. (2023). *The State of AI in 2023*. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2023-generative-ais-breakout-year>

Morales, J. J. (28 de Noviembre de 2020). *El País*. Obtenido de <https://elpais.com/tecnologia/2020-11-27/amazon-emite-mas-co2-a-la-atmosfera-que-nueve-de-los-27-paises-de-la-ue.html>

Tian, Y. W. (2019). Optimization Method for Reducing the Air Pollutant Emission and Aviation Noise of Arrival in Terminal Area. *Sustainability*. doi: <https://doi.org/10.3390/su11174715>

Zadobrischi, E. &. (2022). Applied Study of the Fluidization Model of Logistics Transportation through the Prism of the Impact Generated on the Environment. *Sensors*. doi:<https://doi.org/10.3390/s22239255>

Apéndices

Apéndice 1: Enlace a código desarrollado

<https://github.com/dlfaican/sistemaIA.git>

Notas:

- El código se desarrolló en Python e incluye una interfaz desarrollada con la herramienta Streamlit.
- El código se ejecuta desde el terminal mediante el comando “python -m streamlit run optimización.py” posterior mostrará un enlace que aloja el servidor localmente y en internet para visualizar el dashboard con los resultados.
- La opción para visualizar la huella de carbono demora alrededor de 5 minutos debido a la cantidad de datos procesados.