



**DESARROLLO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL
SISTEMA DE GESTIÓN DE TRANSPORTE (TMS) ASISTIDO POR INTELIGENCIA
ARTIFICIAL (IA), EN LA GESTIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE DE ALIMENTOS
EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO, EN BOGOTÁ, D. C.**

PROYECTO DE INTEGRACIÓN

**DAVID FELIPE CAICEDO ABELLA
JEISSON URIEL MORA BLANCO
KAROL JUANITA VILLAMIL SALGADO**

**TUTOR
EMANUEL ELBERTO ORTIZ RUIZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD EAN
BOGOTÁ, D. C., ABRIL 2024**

Resumen

El proyecto de investigación se enfoca en la Implementación de tecnologías como la inteligencia artificial en la gestión y optimización de rutas de transporte en la cadena de suministro. El objetivo principal es explorar cómo las últimas innovaciones en inteligencia artificial pueden mejorar significativamente la eficiencia y la efectividad de las operaciones logísticas en la cadena de suministro.

En este proyecto, se destacarán los beneficios potenciales de la aplicación de inteligencia artificial en la gestión de rutas de transporte, incluyendo la reducción de costos operativos, la optimización del tiempo de entrega y la mejora general de la satisfacción del cliente. También se abordarán los desafíos esperados y se propondrán enfoques estratégicos para superarlos.

El proyecto enfrentará diversos desafíos, tales como la variabilidad en la demanda de alimentos, la necesidad de mantener la cadena de frío y las restricciones logísticas propias del transporte en la ciudad. Se aplicarán técnicas avanzadas de IA, como el aprendizaje automático y la optimización de algoritmos, para abordar estos desafíos.

Se espera que el modelo de TMS asistido por IA optimice los tiempos de entrega, reduzca los costos logísticos y mejore la calidad del servicio, contribuyendo así a una cadena de abastecimiento más eficiente y competitiva en Bogotá. Además, se anticipa que los resultados obtenidos servirán como base para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de la logística y la inteligencia artificial.

Palabras clave: Aprendizaje automático, Cadena de abastecimiento, Costos logísticos, Demanda del mercado, Eficiencia operativa, Gestión de rutas, Inteligencia artificial (IA), Modelo de optimización de transporte, Planificación dinámica de rutas, Sistema de Gestión de Transporte (TMS).

Abstract

The research project focuses on the implementation of technologies such as artificial intelligence in the management and optimization of transportation routes in the supply chain. The main objective is to explore how the latest innovations in artificial intelligence can significantly improve the efficiency and effectiveness of logistics operations in the supply chain.

In this project, the potential benefits of applying artificial intelligence in route management will be highlighted, including reducing operational costs, optimizing delivery time, and overall improving customer satisfaction. The study will also address expected challenges and propose strategic approaches to overcome them.

The project will face various challenges, including variability in food demand, the need to maintain the cold chain, and logistics restrictions inherent in transportation within the city. Advanced AI techniques such as machine learning and algorithm optimization will be applied to address these challenges.

It is expected that the AI-assisted TMS model will optimize delivery times, reduce logistical costs, and improve service quality, thereby contributing to a more efficient and competitive supply chain in Bogotá. Additionally, it is anticipated that the results obtained will serve as a basis for future research and applications in the field of logistics and artificial intelligence.

Keywords: Machine learning, Supply chain, Logistic costs, Market demand, Operational efficiency, Route management, Artificial intelligence (AI), Transportation optimization model, Dynamic route planning, Transportation Management System (TMS).

Tabla de contenido

Introducción.....	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1. Pregunta de Investigación	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo General.....	11
2.2. Objetivos Específicos	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
3.1. Razones que respaldan la importancia y relevancia de este proyecto	12
3.1.1. Demandas de la Industria Alimentaria	12
3.1.2. Impacto Económico y Social	13
3.1.3. Avances Tecnológicos	13
3.1.4. Necesidad de Soluciones Innovadoras.....	13
3.2. Beneficios del Proyecto	14
3.2.1. Mejora de la Eficiencia Operativa	14
3.2.2. Garantía de la Calidad e Inocuidad de los Alimentos	14
3.2.3. Reducción de la Huella Ambiental	14
3.2.4. Mejora del Acceso a Productos Frescos y Saludables	14
3.2.5. Impulso a la Competitividad Empresarial.....	15
3.2.6. Generación de Valor para los Clientes	15
3.3. Contribución al Conocimiento.....	15
3.4. Impacto a Largo Plazo.....	16

4. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	17
4.1. Intención del Producto/Servicio	17
4.2. Verificación de Parámetros de Diseño.....	18
4.3. Estimación de Características de Diseño o Especificaciones de Producto	19
5. MARCO TEÓRICO	20
5.1. Gestión de transporte en la cadena de abastecimiento.....	20
5.1.1. Importancia de la gestión de transporte	20
5.1.2. Funciones de la gestión de transporte	20
5.1.3. Impacto de la Tecnología en la Gestión de Transporte	21
5.2. Optimización de la Cadena de Abastecimiento	22
5.2.1. Importancia de la optimización de la cadena de abastecimiento	22
5.2.2. Estrategias de optimización	22
5.3. Inteligencia Artificial en la Gestión Logística.....	24
5.3.1. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en logística.....	24
5.3.2. Lógica Difusa en la gestión logística.....	24
6. ANÁLISIS DE COSTOS	26
7. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES	28
7.1. Restricciones de Normatividad.....	28
7.2. Restricciones de tiempo	35
8. DESARROLLO DE SOLUCIÓN.....	37
8.1. Análisis de datos en tiempo real.....	37
8.2. Optimización y monitoreo de la capacidad de carga	38
8.3. Optimización de la logística inversa	40

9.	DESARROLLO DEL PROTOTIPO	42
9.1.1.	Interfaz General de Cargue Ejecutado.....	42
9.1.2.	Detalle de Cargue Realizado	43
9.1.3.	Control de Temperatura en Tiempo Real	43
9.1.4.	Gestión Individualizada de Refrigeradores	44
9.2.	Medición y Evaluación de la Adaptabilidad del Modelo	44
9.2.1.	Simulaciones y Escenarios de Prueba.....	45
9.2.2.	Indicadores de Rendimiento Clave (KPI).....	45
9.2.3.	Análisis de Sensibilidad	46
9.2.4.	Pruebas A/B.....	46
9.2.5.	Monitoreo en Tiempo Real.....	46
9.2.6.	Feedback del Usuario	46
9.2.7.	Pruebas de Estrés	47
9.2.8.	Métricas Específicas del Sector.....	47
9.3.	Información y Datos.....	47
9.3.1.	Fuentes de Datos para la Telemetría	48
9.3.2.	Integración de Datos.....	49
9.3.3.	Implementación.....	50
9.4.	Desarrollo Futuro del Proyecto.....	51
9.4.1.	Descripción de Etapas:	52
10.	Conclusiones.....	53
10.1.	Logros del Proyecto.....	53
10.2.	Impacto y Beneficios.....	54

10.3.	Adaptabilidad y Flexibilidad del Modelo	55
10.4.	Implementación de Tecnologías de Telemetría	55
10.5.	Limitaciones y Áreas de Mejora	56
11.	RECOMENDACIONES	58
11.1.	Continuidad del Proyecto	58
11.2.	Capacitación y Desarrollo de Capacidades	58
11.3.	Investigación y Desarrollo Continuos.....	59
	BIBLIOGRAFÍA	60

Introducción

La gestión de rutas de transporte en la cadena de suministro se enfrenta a desafíos cada vez mayores en un entorno empresarial globalizado y dinámico. La optimización de esta cadena se ha vuelto crucial para mejorar la competitividad y la eficiencia operativa de las empresas (ADEN Business Magazine, 2023).

En este contexto, la implementación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) presenta una oportunidad estratégica para mejorar la eficiencia y la efectividad de las operaciones logísticas. La integración de la inteligencia artificial permite una planificación más precisa y eficiente de las rutas de transporte, así como la capacidad de adaptarse rápidamente a cambios imprevistos en el entorno operativo.

La recopilación y análisis de datos en tiempo real proporcionados por la inteligencia artificial permiten a las empresas evaluar la efectividad de sus operaciones logísticas y tomar decisiones informadas para optimizar el uso de recursos. Según el Parlamento Europeo, las empresas que adoptan la inteligencia artificial experimentan una mejora significativa en la producción y la calidad del servicio al cliente.

En este documento, exploraremos en detalle los beneficios y desafíos asociados con la implementación de inteligencia artificial en la gestión de rutas de transporte de alimentos con cadena de frío. Además, propondremos estrategias para mejorar la eficiencia de la aplicación de gestión de transportes (TMS), una herramienta vital para muchas empresas en el control de sus rutas de transporte.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el contexto actual de la cadena de suministro, la gestión y optimización de rutas de transporte se enfrenta a desafíos significativos que impactan la eficiencia operativa y la rentabilidad de las empresas. Los métodos tradicionales de planificación de rutas suelen ser estáticos y no logran adaptarse de manera eficiente a los cambios dinámicos en las condiciones del mercado, el tráfico, o las demandas de los clientes.

Algunas de las problemáticas son las siguientes:

- **Ineficiencia en la Planificación de Rutas:** Las rutas de transporte a menudo no están óptimamente planificadas, lo que resulta en trayectos más largos, mayores costos operativos y tiempos de entrega prolongados.
- **Falta de Adaptabilidad:** Los sistemas actuales no son lo suficientemente adaptables para ajustarse a cambios imprevistos en tiempo real, como accidentes de tráfico, condiciones meteorológicas adversas o cambios en la demanda de productos.
- **Costos Operativos Elevados:** La falta de optimización en la planificación de rutas contribuye a costos operativos innecesariamente altos, incluyendo consumo de combustible, mantenimiento de vehículos y tiempos de inactividad.
- **Impacto Ambiental:** La gestión ineficiente de rutas contribuye a una huella ambiental significativa debido a la emisión de gases de efecto invernadero asociados con un transporte ineficiente.

La aplicación de tecnologías de inteligencia artificial se presenta como una solución potencial para abordar estos desafíos, permitiendo la optimización dinámica de rutas, la predicción de eventos imprevistos y la mejora general de la eficiencia en la cadena de suministro. Este proyecto de investigación busca explorar y proponer soluciones específicas para mejorar la gestión y la eficiencia operativa de rutas de transporte de alimentos conservados por la cadena de frío mediante la implementación de la inteligencia artificial.

Actualmente, en muchas compañías, está en uso una plataforma desarrollada por Manhattan Associates, que ofrece una solución a la gestión de rutas de transporte integrado con otras plataformas de gestión empresarial. Sin embargo, a pesar de la popularidad de esta aplicación, es necesario evaluar que tan eficiente es el sistema y cuan necesario es implementar la inteligencia artificial para proporcionar una mejora a la gestión actual.

1.1. Pregunta de Investigación

¿Cómo puede la inteligencia artificial optimizar el Sistema de Gestión de Transporte (TMS) para mejorar la eficiencia en la gestión de rutas de transporte para alimentos que requieren de una cadena de frío para su conservación?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Optimizar la eficiencia en la gestión de rutas de transporte de alimentos refrigerados en la cadena de abastecimiento de Bogotá, D.C., a través de la implementación de un modelo de TMS asistido por inteligencia artificial.

2.2. Objetivos Específicos

- Integrar de manera efectiva el modelo de TMS asistido por inteligencia artificial con los sistemas existentes de la cadena de abastecimiento, garantizando una implementación sin inconvenientes y una colaboración fluida con las operaciones logísticas.
- Estudiar la adaptabilidad del modelo a cambios dinámicos en las condiciones del mercado, variaciones en la demanda y posibles obstáculos logísticos, asegurando su utilidad a largo plazo.
- Reducir los costos operativos asociados con el transporte de alimentos refrigerados mediante la aplicación de estrategias de optimización de rutas y la gestión eficiente de recursos logísticos.
- Desarrollar un modelo de optimización que permita la asignación eficiente de rutas, considerando las características específicas del transporte de alimentos refrigerados, como la necesidad de mantener la cadena de frío.

3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de un modelo de optimización de la eficiencia del sistema de gestión de transporte asistido por inteligencia artificial (IA) para la cadena de abastecimiento de alimentos en Bogotá, D. C., es una iniciativa de gran importancia y relevancia, la cual responde a una necesidad crítica en el sector logístico y alimentario de la región.

La aplicación de tecnologías avanzadas en la gestión logística tiene el potencial de mejorar la eficiencia operativa, garantizar la calidad e inocuidad de los alimentos, reducir la huella ambiental y generar valor para las empresas y la comunidad en general. Además, el proyecto puede contribuir al avance del conocimiento en el campo de la logística y la gestión de la cadena de suministro, y tener un impacto positivo a largo plazo en la economía, el medio ambiente y la sociedad en su conjunto.

3.1. Razones que respaldan la importancia y relevancia de este proyecto

3.1.1. Demandas de la Industria Alimentaria

El sector alimentario enfrenta desafíos significativos en términos de eficiencia operativa, calidad de servicio y cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La gestión efectiva del transporte de alimentos es fundamental para garantizar que los productos lleguen a los consumidores finales en óptimas condiciones, cumpliendo con los estándares de seguridad alimentaria y manteniendo la frescura y calidad de los productos perecederos.

3.1.2. **Impacto Económico y Social**

La cadena de abastecimiento de alimentos desempeña un papel crucial en la economía y el bienestar social de Bogotá, D. C. La eficiencia en la distribución de alimentos no solo afecta los costos operativos de las empresas, sino que también influye en el acceso de la población a productos frescos y saludables. Por lo tanto, mejorar la gestión del transporte de alimentos puede tener un impacto positivo en la economía local y en la calidad de vida de los ciudadanos.

3.1.3. **Avances Tecnológicos**

El avance de la tecnología, especialmente en áreas como la inteligencia artificial y la analítica de datos, ofrece nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y efectividad de los procesos logísticos. La aplicación de algoritmos avanzados de IA en la gestión de transporte permite una toma de decisiones más rápida y precisa, optimizando las rutas, reduciendo los tiempos de entrega y minimizando los costos operativos.

3.1.4. **Necesidad de Soluciones Innovadoras**

En un entorno empresarial cada vez más competitivo y dinámico, las empresas buscan constantemente soluciones innovadoras que les permitan diferenciarse en el mercado y mantener una ventaja competitiva. El desarrollo de un modelo de optimización de transporte asistido por IA no solo responde a una necesidad inmediata en el sector logístico y alimentario, sino que también ofrece una oportunidad para liderar el cambio y la innovación en la industria.

3.2. Beneficios del Proyecto

La implementación exitosa del modelo de optimización de transporte propuesto proporcionará una serie de beneficios significativos tanto para las empresas del sector alimentario como para la comunidad en general:

3.2.1. Mejora de la Eficiencia Operativa

El modelo permitirá una gestión más eficiente y efectiva de las operaciones de transporte, optimizando las rutas, reduciendo los tiempos de entrega y minimizando los costos asociados con la cadena de suministro de alimentos.

3.2.2. Garantía de la Calidad e Inocuidad de los Alimentos

La aplicación de tecnologías de monitoreo en tiempo real permitirá asegurar la integridad de los alimentos durante su transporte, garantizando que lleguen a su destino final en condiciones óptimas de frescura y calidad.

3.2.3. Reducción de la Huella Ambiental

Al optimizar las rutas de transporte y reducir los tiempos de viaje, el modelo contribuirá a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales asociados con la logística de alimentos.

3.2.4. Mejora del Acceso a Productos Frescos y Saludables

La eficiencia mejorada en la distribución de alimentos puede tener un impacto positivo en el acceso de la población a productos frescos y saludables, promoviendo

hábitos alimenticios más saludables y contribuyendo al bienestar general de la comunidad.

3.2.5. Impulso a la Competitividad Empresarial

El desarrollo y la implementación de soluciones innovadoras como el modelo de optimización de transporte asistido por IA pueden ayudar a las empresas a diferenciarse en el mercado y a mejorar su posición competitiva. Al adoptar tecnologías avanzadas, las empresas pueden ofrecer servicios logísticos más eficientes y confiables, lo que puede traducirse en una ventaja competitiva significativa.

3.2.6. Generación de Valor para los Clientes

Al mejorar la eficiencia y la calidad de los servicios de transporte de alimentos, el proyecto tiene el potencial de generar valor adicional para los clientes finales. La entrega oportuna de productos frescos y de alta calidad puede mejorar la satisfacción del cliente y fortalecer las relaciones comerciales a largo plazo.

3.3. Contribución al Conocimiento

Además de los beneficios prácticos mencionados anteriormente, el proyecto también tiene el potencial de contribuir al avance del conocimiento en el campo de la logística y la gestión de la cadena de suministro. La aplicación de algoritmos avanzados de inteligencia artificial en un contexto específico como el transporte de alimentos en Bogotá, D. C., puede generar nuevos conocimientos sobre la eficiencia

operativa, la optimización de rutas y la gestión de la cadena de frío, que pueden ser de interés para investigadores, académicos y profesionales del sector.

3.4. Impacto a Largo Plazo

El impacto del proyecto no se limita a sus resultados inmediatos, sino que también tiene el potencial de generar efectos positivos a largo plazo en la economía, el medio ambiente y la sociedad en su conjunto. Al mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la cadena de abastecimiento de alimentos, el proyecto puede contribuir al desarrollo económico, la seguridad alimentaria y la protección del medio ambiente en Bogotá y sus alrededores.

4. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Desarrollo del Modelo de Optimización de TMS Asistido por Inteligencia Artificial para la Gestión de Rutas de Transporte de Alimentos en Bogotá, D. C.

4.1. Intención del Producto/Servicio

- Objetivo General: Desarrollar un modelo de optimización de la eficiencia de TMS asistido por inteligencia artificial para la gestión de rutas de transporte de alimentos refrigerados en la cadena de abastecimiento en Bogotá.
- Objetivos Específicos:
 - ✓ Optimizar la asignación de rutas considerando la congestión del tráfico, la demanda fluctuante y las restricciones logísticas específicas del transporte de alimentos. Este objetivo busca mejorar la eficiencia en la gestión de rutas al desarrollar un modelo que tenga en cuenta los factores dinámicos que afectan la planificación de rutas, lo que resultará en una mejora general en la eficiencia operativa del sistema de transporte.
 - ✓ Minimizar los tiempos de entrega de alimentos, garantizando su frescura y calidad. Al reducir los tiempos de entrega, este objetivo contribuirá directamente a mejorar la satisfacción del cliente y a mantener la calidad de los alimentos durante el transporte, lo que se alinea con el objetivo general de optimizar la eficiencia en la gestión de rutas.

- ✓ Reducir los costos operativos asociados con el transporte de alimentos. La reducción de costos operativos resultante de la implementación del modelo de optimización contribuirá a mejorar la rentabilidad y la eficiencia económica del sistema de transporte, lo que es fundamental para alcanzar el objetivo general de optimizar la eficiencia en la gestión de rutas.
- ✓ Implementar un sistema adaptable y escalable que pueda integrarse eficientemente con los sistemas existentes de la cadena de abastecimiento. Este objetivo garantizará que el modelo de optimización pueda adaptarse a las necesidades cambiantes del entorno empresarial y pueda escalar para manejar un aumento en la escala de operaciones, lo que respaldará la consecución del objetivo general de optimizar la eficiencia en la gestión de rutas.

4.2. **Verificación de Parámetros de Diseño**

- **Eficiencia del Modelo:** Se verificará que el modelo propuesto logre una mejora significativa en la eficiencia operativa en comparación con los métodos tradicionales de gestión de rutas.
- **Integración con TMS:** Asegurar la correcta integración del modelo en los sistemas de Gestión de Transporte (TMS) existentes en las empresas de la cadena de abastecimiento.

- Adaptabilidad: Verificar la capacidad del modelo para adaptarse a cambios dinámicos en las condiciones del mercado, el tráfico y la demanda de alimentos.

4.3. Estimación de Características de Diseño o Especificaciones de Producto

- Potencia del Modelo: Se estimará la capacidad de procesamiento necesario para ejecutar el modelo de optimización en tiempo real.
- Desempeño del Modelo: Se definirán métricas de desempeño, como la reducción porcentual de los tiempos de entrega y la optimización de costos operativos.
- Escalabilidad: Estimar la capacidad del modelo para manejar un aumento en la escala de operaciones sin pérdida significativa de eficiencia.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Gestión de transporte en la cadena de abastecimiento

La gestión de transporte en la cadena de abastecimiento es un componente crítico para garantizar el flujo eficiente de bienes desde el punto de origen hasta el destino final. En este proceso, se deben coordinar diversas actividades, como la planificación de rutas, la selección de modos de transporte adecuados, la programación de entregas y el monitoreo del movimiento de mercancías. Implica la toma de decisiones estratégicas y operativas para planificar, coordinar y controlar estos movimientos de manera eficiente y efectiva (John J. Coyle, 2017),

5.1.1. Importancia de la gestión de transporte

La gestión de transporte desempeña un papel fundamental en la cadena de abastecimiento al facilitar el movimiento físico de bienes entre diferentes nodos, como fábricas, centros de distribución y puntos de venta. Según (Sunil Chopra, 2013), la cadena de suministro se define como un proceso organizado que abarca desde la adquisición de materias primas hasta la entrega de productos terminados al consumidor final. El transporte permite conectar estos diferentes puntos y asegurar que los productos lleguen a su destino de manera oportuna y eficiente.

5.1.2. Funciones de la gestión de transporte

La gestión de transporte implica una serie de funciones clave, que incluyen la planificación de rutas, la coordinación de horarios y la optimización de los recursos

disponibles. Además, también abarca aspectos como la selección de modos de transporte adecuados, la gestión de flotas y la implementación de sistemas de seguimiento y monitoreo. Estas funciones son esenciales para garantizar la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones de transporte en la cadena de abastecimiento.

5.1.3. **Impacto de la Tecnología en la Gestión de Transporte**

La tecnología ha transformado significativamente la gestión de transporte en la cadena de suministro. Las innovaciones tecnológicas han permitido a las empresas mejorar la visibilidad de la cadena de suministro, optimizar las rutas de transporte y gestionar de manera más eficiente los recursos logísticos. Según un informe de (Chui M., 2020), la adopción de tecnologías avanzadas en la logística, como la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y el Big Data, puede aumentar la eficiencia operativa en un 15-20%. Estas tecnologías permiten a las empresas recopilar y analizar datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la optimización de las operaciones de transporte.

La integración de sistemas avanzados de gestión de transporte (TMS), GPS y tecnologías de comunicación en tiempo real ha permitido a las empresas mejorar la visibilidad y el control de sus flotas. La implementación de algoritmos de optimización y análisis de datos ha facilitado la planificación dinámica de rutas, reduciendo costos y tiempos de entrega. Además, el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real, como sensores de temperatura y humedad, ha mejorado la gestión de la cadena de frío, garantizando la calidad y seguridad de los alimentos durante su transporte. Estos avances tecnológicos no solo han mejorado la eficiencia operativa, sino que también

han permitido una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta ante imprevistos y cambios en la demanda.

5.2. Optimización de la Cadena de Abastecimiento

La optimización de la cadena de abastecimiento busca mejorar continuamente los procesos logísticos para maximizar la eficiencia y el valor para el cliente. Este enfoque implica la coordinación y sincronización de actividades a lo largo de la cadena, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega de productos terminados.

5.2.1. Importancia de la optimización de la cadena de abastecimiento

La optimización de la cadena de abastecimiento es crucial para asegurar que los productos lleguen a los clientes en el momento adecuado y al menor costo posible. Según (Ballou, 2004), el transporte representa un componente crítico en los costos logísticos totales, absorbiendo entre uno y dos tercios de estos costos. Por lo tanto, la eficiencia en el transporte desempeña un papel crucial en la optimización de la cadena de abastecimiento, ya que afecta directamente la capacidad de una empresa para entregar productos de manera oportuna y rentable.

5.2.2. Estrategias de optimización

Para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos logísticos en la cadena de abastecimiento, es crucial implementar estrategias efectivas que van desde la automatización de procesos hasta la colaboración con proveedores y socios logísticos externos. Estas estrategias incluyen:

- **Automatización de Procesos:** La automatización de procesos logísticos, como la gestión de inventarios y el seguimiento de envíos, puede reducir significativamente los errores humanos y mejorar la precisión de las operaciones. Según un estudio de Deloitte (2019), las empresas que han adoptado la automatización han visto una reducción del 30% en los costos operativos.
- **Colaboración con Proveedores y Socios Logísticos:** La colaboración estrecha permite una mejor coordinación y sincronización de actividades a lo largo de la cadena de suministro. Esto incluye la compartición de datos y el uso de plataformas tecnológicas conjuntas para mejorar la visibilidad y la gestión de las operaciones.
- **Uso de Tecnologías Avanzadas:** La implementación de tecnologías como el IoT, el Big Data y la IA en la gestión de la cadena de suministro permite una mejor predicción de la demanda, optimización de rutas y gestión de inventarios. Estas tecnologías proporcionan información en tiempo real que ayuda a las empresas a tomar decisiones más informadas y a reaccionar rápidamente ante cambios en el mercado o la demanda.
- **Sostenibilidad y Gestión Ambiental:** Adoptar prácticas sostenibles en la logística, como el uso de vehículos eléctricos y la optimización de rutas para reducir el consumo de combustible, no solo contribuye a la protección del medio ambiente, sino que también puede reducir los costos operativos. La sostenibilidad se ha convertido en un factor clave para muchas

empresas que buscan mejorar su reputación y cumplir con las regulaciones ambientales.

Estas estrategias, combinadas con una gestión eficiente y el uso de tecnologías avanzadas, pueden transformar la cadena de abastecimiento en un sistema más ágil, eficiente y resiliente.

5.3. Inteligencia Artificial en la Gestión Logística

La Inteligencia Artificial (IA) ha emergido como una herramienta poderosa para abordar los desafíos en la gestión logística. Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son, según (Reza Toorajipour, 2021) una de las técnicas más comunes de IA, utilizadas para encontrar patrones complejos en conjuntos de datos grandes y variados.

5.3.1. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en logística

La IA se puede aplicar a una amplia gama de problemas en logística, incluida la optimización de rutas de transporte, la predicción de la demanda, la gestión de inventarios y la detección de fraudes. Las RNA son especialmente útiles para encontrar patrones complejos en conjuntos de datos logísticos, lo que permite a las empresas tomar decisiones más informadas y eficientes.

5.3.2. Lógica Difusa en la gestión logística

Además de las RNA, la Lógica Difusa (FL) es otra técnica de IA que ha demostrado ser útil en la gestión logística. La FL maneja la incertidumbre y la ambigüedad en la toma de decisiones al permitir la asignación de valores de verdad

parciales a las declaraciones. Esto es especialmente útil en situaciones logísticas donde los datos pueden ser incompletos o imprecisos, permitiendo a los sistemas de IA tomar decisiones más robustas y adaptativas.

6. ANÁLISIS DE COSTOS

El estudio se enfocó en analizar los costos asociados con el desarrollo de un Modelo de Optimización de la Eficiencia del Sistema de Gestión de Transporte (TMS) asistido por Inteligencia Artificial (IA) para la gestión de rutas de transporte de alimentos en Bogotá, D.C. Se proyectaron diversos aspectos financieros, como el desarrollo de la aplicación, la compra de plataformas y software especializados, el alquiler y compra de bases de datos relevantes, así como los gastos asociados con el personal, infraestructura y servicios adicionales necesarios para la implementación. Además, se consideraron los costos de puesta en marcha para garantizar una transición efectiva hacia el nuevo modelo de gestión. Este análisis exhaustivo permitió una evaluación detallada de los recursos financieros requeridos para la implementación exitosa del TMS asistido por IA en el contexto específico de la cadena de abastecimiento de alimentos en Bogotá.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
Desarrollo de la aplicación	Costos de contratación de desarrolladores de software para crear la aplicación.	\$4.000.000,00
	Costos de diseño.	\$4.000.000,00
Compra de plataformas y software	Adquisición de licencias de software especializado en optimización de rutas y gestión de transporte.	\$1.500.000,00
	Personalización del software para adaptarse a las necesidades específicas del proyecto.	\$8.000.000,00

Hardware	Adquisición de equipos informáticos adecuados para ejecutar el software (servidores).	\$5.800.000,00
	Dispositivos móviles adicionales para los conductores.	\$1.289.000,00
Alquiler y compra de bases de datos	Suscripción o compra de bases de datos.	\$1.500.000,00
Personal	Equipo dedicado al desarrollo, implementación y mantenimiento del modelo, incluyendo salarios, beneficios y capacitación.	\$2.600.000,00
Infraestructura y servicios adicionales	Costos de infraestructura de red.	\$380.000,00
Puesta en marcha	Posibles costos de consultoría.	\$2.500.000,00
	Integración del modelo.	\$1.500.000,00

El valor de inversión de puesta en marcha del aplicativo con las expectativas de producto comercial es de \$33.069.000,00 COP, sin embargo, se realizó un estudio del producto mínimo viable (MVP) el cual tiene un valor de inversión de puesta en marcha con mínimos viables es de \$9.080.000,00.

7. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

7.1. Restricciones de Normatividad

Como parte del desarrollo de este proyecto, se llevó a cabo una investigación exhaustiva que comenzó con el análisis de la normativa gubernamental en el país. En este proceso, se identificaron importantes regulaciones relacionadas con la salud y la conservación de alimentos bajo cadena de frío, tales como los Decretos No. 2162 de 1983 y No. 476 de 1998, emitidos por el Ministerio de Salud, así como también, la Resolución No. 002505 de 2004 del Ministerio de Transporte. Estas normativas establecen los estándares y requisitos indispensables para garantizar la seguridad y calidad de los alimentos durante su transporte, siendo de vital importancia su consideración en el diseño y la implementación del modelo de optimización de rutas.

Dado su impacto significativo en el avance de este estudio, se extrajeron de manera precisa las restricciones que deben tenerse en cuenta, directamente de los documentos oficiales. Estas restricciones podrían influir en el desarrollo futuro del proyecto, por lo que su consideración adecuada es fundamental para su éxito, a saber:

Decreto No. 2162 de 1983. Ministerio de Salud
Artículo 2. Para efectos del presente Decreto adóptense las siguientes definiciones: 11. Tratamiento térmico. Se entiende por tratamiento térmico el proceso por el cual el producto en elaboración, es sometido a temperaturas internas de 68 a 72 °C cuya duración depende del diámetro del producto, para destruir su flora patógena y la casi totalidad de su flora banal, sin alterar su valor nutritivo ni las características físico-químicas u organolépticas del mismo

Artículo 17. Las descargas de canales, medios, canales o cuartos de canal se efectuarán por rieles aéreos u otro medio mecánico; la carne en trozos se transportará en carros o bandejas. En ningún caso se permitirá el transporte a hombre.

Artículo 18. Además de los requisitos establecidos en las normas relativas a fábricas de alimentos, las cámaras frigoríficas deberán cumplir con los requisitos que en el presente Decreto se establecen.

Artículo 19. Las cámaras frigoríficas destinadas al almacenamiento y conservación de las carnes, deberán tener capacidad suficiente para la recepción diaria y disponer de suficientes espacios libres que faciliten la circulación y la revisión de los canales.

Parágrafo. Cuando se utilicen productos de la pesca, las fábricas deberán poseer cámaras destinadas exclusivamente para el almacenamiento del pescado.

Artículo 20. Las cámaras frigoríficas deberán estar provistas de termómetros de máxima y mínima, higrómetro, rieles y ganchos para el izado de las canales.

Artículo 21. Para salmueras y carnes congeladas en bloque, las cámaras frigoríficas deberán disponer de estantes y recipientes hechos de material inalterable y no tóxico.

Artículo 22. Las cámaras frigoríficas para almacenamiento de carnes estarán a una temperatura de 0 a 4°C y a una humedad relativa de 90 a 95%.

Parágrafo. Cuando se almacenen carnes por tiempo prolongado, en planta deberá poseer cámaras de congelación que garanticen que los productos se mantengan a temperaturas no superiores a 18°C.

Artículo 23. No deberán almacenarse en las cámaras, frigoríficos para almacenamiento de carnes, sustancias o productos diferentes a la carne vísceras, grasas y subproductos comestibles de animales de abasto.

Artículo 24. En las cámaras frigoríficas para el almacenamiento de carnes no se podrán depositar productos procesados o que estén en proceso.

Artículo 31. La cámara frigorífica destinada para el tratamiento de productos procesados sólo podrá destinarse para tal fin y en ella no podrán almacenarse materias primas o cualquier otro producto.

Artículo 32. La cámara frigorífica destinada para el almacenamiento de productos procesados, deberá tener capacidad suficiente para el volumen diario de producción y deberá mantener una temperatura interna de 0 a 4°C y una humedad relativa de 85%.

Artículo 33. La cámara frigorífica deberá poseer termómetro de máxima y mínima, higrómetro, ganchos y estantería para el almacenamiento de los productos.

Artículo 34. Cuando la planta se dedique a elaborar productos procesados crudos, frescos, el almacenamiento debe realizarse en cámara de congelación que garantice que los productos mantengan temperaturas no superiores a 18°C.

Artículo 38. Los productos procesados, cocidos, deben conservarse bajo refrigeración entre 0° y 4°C y su fecha de vencimiento tendrá un límite máximo de treinta (30) días para productos empacados al vacío y de quince (15) días para los no empacados al vacío, en condiciones óptimas de manejo y refrigeración.

Artículo 41. Se consideran productos procesados, crudos, frescos, los elaborados a base de carne y grasa de animales de abasto, embutidos o no y de durabilidad limitada, por lo que para su conservación prolongada necesitan congelación (-18°C).

Artículo 43. Los productos procesados, crudos, frescos, deben conservarse bajo congelación entre -20y -10°C y su fecha de vencimiento será no mayor de 45 días.

Parágrafo Los productos procesados, crudos, frescos, deberán llevar en su rótulo la leyenda "manténgase en congelación. Consúmase previa cocción".

Decreto No. 476 de 1998. Ministerio de Salud

Artículo 1. Modifícase los literales f) y g) del artículo 2° del Decreto 2437 de 1983, los cuales quedarán así:

f) Leche ultrapasteurizada (UHT) envasada asépticamente: Es el producto obtenido mediante proceso térmico en flujo continuo, aplicado a la leche, a una temperatura no inferior a 132°C durante un tiempo de 2 a 4 segundos, seguido inmediatamente de envasado aséptico en recipientes estériles a prueba de luz, impermeables y cerrados herméticamente, de tal manera que aseguran la ausencia

de todas las formas de microorganismos vegetativos y esporulados, sin alterar de manera esencial ni su valor nutritivo, ni sus características físicoquímicas u organolépticas.

Leche ultrapasteurizada (UTH) envasada en alta higiene: Es el producto obtenido mediante proceso térmico en flujo continuo aplicado a la leche a una temperatura no inferior a 132°C durante un tiempo de 2 a 4 segundos, para destruir su flora patógena y la casi totalidad de su flora banal sin alterar de manera esencial su valor nutritivo ni sus características físicoquímicas u organolépticas, seguido inmediatamente de un enfriamiento rápido y envasado en condiciones de alta higiene en recipientes previamente higienizados, herméticamente cerrados que aseguren la calidad del producto en refrigeración durante su vida útil;

g) Leche esterilizada: Es el producto obtenido al someter la leche envasada herméticamente, a una temperatura no inferior a 115°C, la cual debe mantenerse durante por lo menos quince (15) minutos, para lograr la destrucción de todas las formas de microorganismos vegetativos y esporulados, sin alterar de manera esencial ni su valor nutritivo, ni sus características físico, químicas u organolépticas.

Artículo 8. Modifícase el párrafo 2° del artículo 105 del Decreto 2437 de 1983, el cual quedará así:

Los vehículos que transporten leche higienizada, pasteurizada o irradiada, deberán disponer de un aislamiento adecuado que permita mantener el producto a una temperatura inferior a 10°C, hasta su entrega al distribuidor o consumidor

Resolución No. 002505 de 2004. Ministerio de Transporte

Artículo 1. objeto y ámbito de aplicación. La presente Resolución tiene por objeto regular las condiciones mínimas que deben cumplir los vehículos que transporten carne, pescado o alimentos fácilmente corruptibles, en todo el territorio nacional, de conformidad con lo establecido en el artículo 131 literal B de la Ley 769 de 2002, principalmente en los aspectos relacionados con los requisitos de las unidades de transporte destinadas a dicha actividad y el procedimiento de control.

Artículo 2.- alcance.- Para efectos de esta Resolución se consideran alimentos corruptibles los siguientes: Carne fresca de las diferentes especies animales

declaradas aptas para el consumo humano (bovinos, porcinos, aves, ovinos, caprinos, conejos, equinos) y otras que el Ministerio de la Protección Social declare como aptas para dichos fines; pescado fresco y otros productos de la pesca, y productos que de acuerdo a la información contenida en su rotulado, requieran condiciones especiales de refrigeración o congelamiento.

Artículo 3.- definiciones. - Sin perjuicio de las normas vigentes en materia sanitaria y para la aplicación de la presente Resolución, se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

- **ALIMENTO CONGELADO:** Es aquel, en que la mayor parte de su agua libre se ha transformado en hielo, al ser sometido a un proceso de congelación, especialmente concebido para preservar su integridad y calidad y para reducir, en todo lo posible las alteraciones físicas, bioquímicas y microbiológicas, tanto en la fase de congelación como en la conservación posterior. Se considera alimento congelado aquel cuya temperatura no es superior a menos dieciocho grados centígrados (-18°C)
- **ALIMENTO REFRIGERADO:** Es aquel enfriado a una temperatura de cero a cuatro grados centígrados (0° C a 4° C) para preservar su integridad y calidad, reduciendo, las alteraciones físicas, bioquímicas y microbiológicas, de tal forma que en todos los puntos su temperatura sea superior a la de su punto de congelación.
- **CADENA DE FRIO:** Es el conjunto de actividades que deben realizarse para mantener los productos bajo condiciones requeridas y controladas, (temperatura, humedad relativa, iluminación, entre otras).
- **CARNE FRESCA:** Aquella que mantiene inalterable las características físicas, químicas y organolépticas que la hacen apta para el consumo humano y que, salvo la refrigeración o congelación no ha sido sometida a ningún tratamiento para asegurar su conservación. Por extensión se consideran como carne, las vísceras y otras partes comestibles de los animales de consumo humano.

- **PESCADO FRESCO Y OTROS PRODUCTOS DE LA PESCA:** Aquellos que mantienen inalterables las características físicas, químicas y organolépticas que lo hacen apto para el consumo humano y que, salvo la refrigeración o congelación no ha sido sometido a ningún tratamiento para asegurar su conservación.
- **TEMPERATURA EXIGIDA DE TRANSPORTE:** Es la temperatura a la que se debe transportar el producto de acuerdo con las reglamentaciones sanitarias vigentes o la establecida por el remitente del producto.
- **UNIDAD DE FRÍO:** Equipo que mantiene en forma controlada, la temperatura de un contenedor o de la unidad de transporte para productos que requieren refrigeración o congelación.
- **UNIDAD DE TRANSPORTE:** Es el espacio destinado en un vehículo para la carga a transportar, en el caso de los vehículos rígidos se refiere a la carrocería y en los articulados al remolque o al semirremolque.
- **VEHÍCULO ISOTERMO:** Vehículo en que la unidad de transporte está construida con paredes aislantes, incluyendo puertas, piso y techo, y que permiten limitar los intercambios de calor entre el interior y el exterior de la unidad de transporte.
- **VEHÍCULO REFRIGERADO:** Vehículo isoterma, que posee una unidad de frío, la cual permite reducir la temperatura del interior de la unidad de transporte o contenedor a -20° C y de mantenerla inclusive, para una temperatura ambiental exterior media de 30° C.

Artículo 4.- requisitos: La unidad de transporte de los vehículos destinados a la movilización de los productos objeto de esta Resolución, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Las partes interiores de la unidad de transporte, incluyendo techo y piso deben ser herméticas, así como los dispositivos de cierre de los vehículos y de ventilación y circulación interna de aire, deben estar fabricadas con materiales resistentes a la corrosión, impermeables, con diseños y formas que no permitan el almacenamiento de residuos y que

sean fáciles de limpiar, lavar y desinfectar. Adicionalmente las superficies deben permitir una adecuada circulación de aire.

- La unidad de transporte debe tener aislamiento térmico revestido en su totalidad para reducir la absorción de calor.
- Las puertas deben ser herméticas, de modo que una vez dentro, la carga quede aislada del exterior.
- El diseño de la unidad de transporte debe permitir la evacuación de las aguas de lavado. En caso que la unidad de transporte tenga orificios para drenaje, estos deben permanecer cerrados mientras la unidad contenga el alimento.
- Toda unidad de transporte en donde se movilicen alimentos refrigerados o congelados debe estar equipada con un adecuado sistema de monitoreo de temperatura de fácil lectura y ubicado en un lugar visible, donde se pueda verificar la temperatura requerida y la temperatura real del aire interno, desde el momento en que se cierran las puertas de la unidad de transporte.
- En el caso de unidades de transporte sin unidad de frío se debe contar con un sistema de monitoreo sencillo y apropiado para las condiciones de entrega del producto. Este sistema puede ser un termómetro de punzón para alimentos, debidamente calibrado, cintas indicadoras de temperatura ó termógrafos desechables, entre otros.
- La unidad de transporte destinada a contener los productos objeto de esta reglamentación debe estar libre de cualquier tipo de instalación o accesorio que no tenga relación con la carga o sistema de enfriamiento de los productos, en el caso de los cilindros para el almacenamiento de gas natural comprimido vehicular, estos deben estar completamente aislados del habitáculo de carga, estar equipados con dispositivos de venteo que eviten el ingreso de combustible al interior de la unidad de transporte y lo envíe al exterior del vehículo en una eventual fuga, los cuales deberán cumplir los reglamentos técnicos expedidos por la autoridad competente, que apliquen para vehículos que operen con GNV.

En el caso de camiones no debe existir comunicación entre la unidad de carga y la cabina del conductor.

- El transporte de alimentos definidos en esta Resolución se podrá realizar en vehículos tipo isoterma que garanticen la temperatura exigida de transporte, de tal forma que conserven sus características de inocuidad.

Artículo 5.- procedimiento de control: La verificación del cumplimiento de las disposiciones establecidas en esta Resolución, serán realizadas por las Autoridades de Transporte y Tránsito los cuales podrán contar con el apoyo de las Autoridades Sanitarias cuando lo consideren necesario.

7.2. Restricciones de tiempo

El tiempo máximo que pueden estar almacenados productos lácteos líquidos es 72 horas según (Grupo Carbó Collbatallé, 2020), Grupo logístico especializado en transporte de productos con cadena de frío. Sin embargo, cuando se trata de productos como quesos, natas, yogures, puede variar el tiempo de almacenamiento entre 15 y 30 días.

Estas restricciones afectan específicamente la planificación de rutas de transporte y, representan un marco de límites que deben ser tenidos en cuenta al momento de planear las rutas de transporte para garantizar que los productos permanezcan en perfecto estado hasta llegar al cliente final.

- Planificación de Rutas Eficientes: Dado el límite de tiempo de 72 horas para productos lácteos líquidos y el rango de 15 a 30 días para otros productos lácteos, es crucial diseñar rutas de transporte que minimicen el tiempo de tránsito y maximicen la frescura de los productos. Esto puede implicar la selección de rutas más directas y la programación de entregas

en función de la duración máxima de almacenamiento de cada tipo de producto.

- **Rotación de Inventarios:** Para cumplir con las restricciones de tiempo, también es importante implementar estrategias de rotación de inventario que aseguren que los productos más antiguos se entreguen primero, evitando así el riesgo de que los productos se excedan en su tiempo de almacenamiento durante el transporte.
- **Monitoreo y Control de Condiciones:** Se deben establecer sistemas de monitoreo y control de temperatura durante todo el proceso de transporte para garantizar que los productos se mantengan dentro de los rangos de temperatura seguros y cumplan con los requisitos de tiempo establecidos.

Al considerar estas implicaciones prácticas, se puede desarrollar un enfoque más efectivo para la planificación de rutas de transporte que garantice la frescura y la calidad de los productos refrigerados durante todo el proceso de distribución.

8. DESARROLLO DE SOLUCIÓN

En este documento se realizará el estudio con un enfoque documentado, que considerará investigaciones y la aplicación previa de factores expuestos como solución, se recolectará la información correspondiente aplicada o por aplicar, así como modelos teóricos planteados que puedan homologar parte del proceso de este sistema de soluciones.

8.1. Análisis de datos en tiempo real

Propone implementar un sistema integral de recopilación y análisis de datos en tiempo real para optimizar la gestión logística en el transporte de productos alimenticios. Este sistema se encargará de integrar información relevante sobre diversos factores, incluyendo el tráfico vehicular, las condiciones climáticas, la ocurrencia de eventos especiales y la demanda de productos en distintas áreas geográficas (Vargas, 2021).

La utilización de inteligencia artificial constituye un elemento clave en este sistema, permitiendo el procesamiento y análisis eficiente de los datos recopilados (Ochoa, 2023). A través de algoritmos avanzados, la inteligencia artificial será capaz de ajustar dinámicamente las rutas y horarios de entrega en función de la información en tiempo real, con el fin de minimizar los tiempos de viaje y optimizar la utilización de los vehículos de transporte. Este enfoque garantiza una mayor eficiencia en la distribución de productos alimenticios y ofrece la posibilidad de anticipar y responder

proactivamente a los cambios en las condiciones del entorno, asegurando una operación logística más ágil y adaptable a las necesidades del mercado y del cliente.

Se plantea un modelo donde se utilice la infraestructura ya existente de los articulados del Sistema Integrado de Transporte (Jutinico Rodríguez, 2023), para la compilación de datos en tiempo real; a su vez, se buscará el uso de los dispositivos de monitoreo de secretaria de movilidad para su misma función.

Este componente permitirá una gestión logística más ágil y adaptable al proporcionar información en tiempo real sobre factores relevantes como el tráfico, las condiciones climáticas y la demanda de productos. Al integrar la inteligencia artificial en este sistema, se podrán ajustar dinámicamente las rutas y horarios de entrega para minimizar los tiempos de viaje y optimizar la utilización de los vehículos, lo que conduce a una mejora general en la eficiencia operativa de la cadena de abastecimiento.

8.2. Optimización y monitoreo de la capacidad de carga

Sabiendo que la tasa de incumplimiento de la normatividad de cadena de frío en alimentos es exponencial, se plantea la implementación de algoritmos de inteligencia artificial (IA) para la optimización de la capacidad de carga de los vehículos de transporte de alimentos como una estrategia innovadora para gestión logística. Esta metodología se fundamenta en la aplicación de modelos computacionales avanzados que consideran posibles superficies no uniformes de la mercancía y una variedad de factores relevantes para la eficiencia del transporte y la integridad de los productos perecederos (Neira Quesada, 2018).

En este enfoque, se usan algoritmos de IA que consideran varios parámetros, como el volumen y peso de los pedidos, las especificaciones de temperatura requeridas para almacenar los alimentos y restricciones legales y técnicas relacionadas con la capacidad de carga de los vehículos (Carvajal Uribe, 2016). Estos algoritmos son capaces de realizar análisis complejos y tomar decisiones en tiempo real, lo que permite una gestión óptima de la capacidad de carga de cada vehículo en función de las características específicas de los productos y las rutas de entrega.

La aplicación de esta tecnología ofrece beneficios comprobados en cuanto a eficiencia operativa y mitigación de riesgos. Por un lado, permite maximizar la capacidad de carga de los vehículos, lo que reduce la necesidad de realizar viajes adicionales y, en consecuencia, disminuye los costos operativos asociados al transporte. Además, al garantizar una distribución óptima de la carga, se minimiza el riesgo de situaciones de sobrecupo que puedan comprometer la cadena de frío de los productos perecederos, y gracias al monitoreo se lograra interceder y corregir, asegurando su calidad e inocuidad durante el proceso logístico.

Este componente se centra en maximizar la capacidad de carga de los vehículos de transporte de alimentos mediante el uso de algoritmos de inteligencia artificial. Al optimizar la distribución de la carga y garantizar una gestión óptima de los productos perecederos, se reducen los costos operativos asociados al transporte y se asegura la calidad e inocuidad de los productos durante todo el proceso logístico.

8.3. Optimización de la logística inversa

La implementación de soluciones de logística inversa lograría ser altamente fructífera para gestionar de manera eficiente el retorno de envases y productos no vendidos desde los puntos de entrega hasta los centros de distribución o proveedores correspondientes, pues para muchas empresas de procesamiento de alimentos es uno de los pilares más importantes para lograr dar agilidad a esos productos prontos a su fecha de caducidad.

Este enfoque se basa en la aplicación de algoritmos de IA que permiten identificar patrones de retorno, prever la demanda de productos devueltos y dar seguimiento automático de un producto en específico si así se desea y optimizar las rutas de recolección en función de diversos factores, como la ubicación geográfica de los puntos de entrega, la capacidad de los vehículos de transporte y las condiciones específicas de los productos devueltos.

Una de las principales ventajas de esta aproximación es su capacidad para reducir los costos asociados al transporte inverso, ya que permite planificar de manera más eficiente las operaciones de recolección y redistribución de productos no vendidos. Además, al minimizar la cantidad de viajes necesarios y optimizar las rutas de transporte, se logra una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales negativos asociados, mientras se preserva el alimento de manera inocua y adecuada.

La implementación de soluciones de logística inversa permitirá gestionar de manera eficiente el retorno de envases y productos no vendidos. Al utilizar algoritmos de IA para identificar patrones de retorno y optimizar las rutas de recolección, se

reducen los costos asociados al transporte inverso y se minimiza el impacto ambiental, al tiempo que se preserva la calidad de los alimentos.

9. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

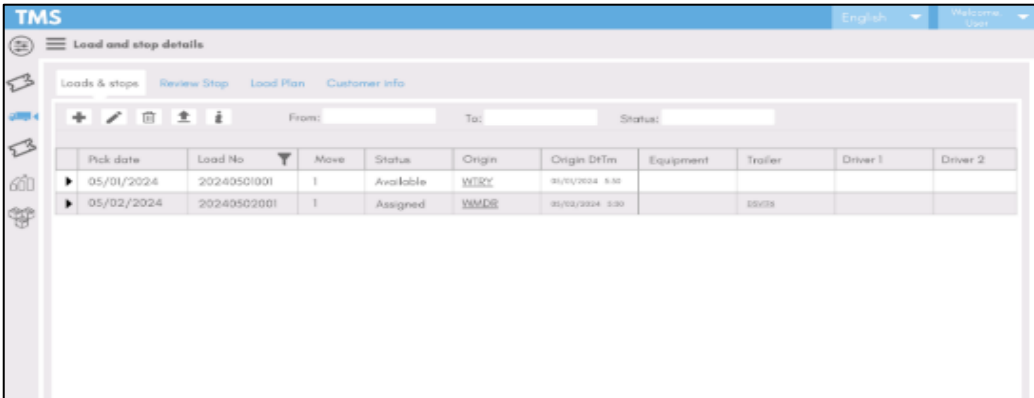
El prototipo de la aplicación se ha diseñado con el objetivo de ofrecer una solución integral para la gestión eficiente del transporte de alimentos refrigerados.

9.1. Presentación del modelo de interfaz

La interfaz de la aplicación es intuitiva y cuenta con funcionalidades esenciales para facilitar la supervisión y el control de los cargues realizados. A continuación, se detallan las características principales:

9.1.1. Interfaz General de Cargue Ejecutado

La página de visualización general de cargues ejecutados proporciona una panorámica completa de las operaciones de transporte realizadas en fechas específicas. Los usuarios pueden acceder fácilmente a los datos esenciales, como la hora de salida, los puntos de origen y destino, los equipos utilizados y la información del conductor. Además, se ha implementado un sistema de filtrado que permite a los usuarios buscar cargues específicos según diferentes criterios, lo que facilita la navegación y la gestión de la información.



The screenshot displays the 'Load and stop details' page in the TMS application. The interface includes a navigation menu on the left, a top header with 'TMS', 'English', and 'Welcome User', and a main content area with tabs for 'Loads & stops', 'Review Stop', 'Load Plan', and 'Customer info'. Below the tabs is a search bar with 'From:', 'To:', and 'Status:' fields. A table lists the following data:

Pick date	Load No	Move	Status	Origin	Origin DTM	Equipment	Trailer	Driver 1	Driver 2
05/01/2024	20240501001	1	Available	WDC	05/01/2024 8:30				
05/02/2024	20240502001	1	Assigned	WDC	05/02/2024 8:30		55028		

9.1.2. **Detalle de Cargue Realizado**

La pantalla de detalle de cargue realizado ofrece una vista más detallada de un cargue específico. Aquí, los usuarios pueden encontrar información detallada, como la hora de salida, los detalles de los lugares de origen y destino, los equipos utilizados, los datos del conductor y notas adicionales relevantes. Además de estos datos fundamentales, se propone la implementación de una extensión de control de temperatura para garantizar la integridad de los alimentos durante el transporte.

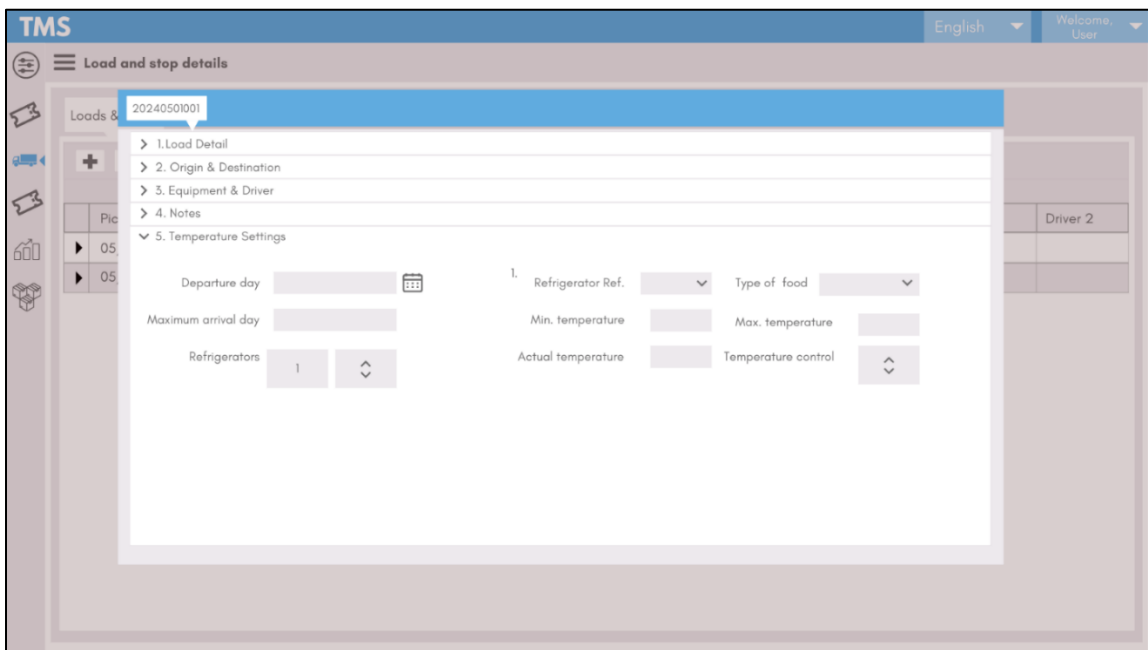
Con base en la base de datos de alimentos transportados, donde cada alimento tiene definida su temperatura máxima, mínima y tiempo máximo de transporte con cadena de frío, el software proporcionará alertas en tiempo real sobre la temperatura de refrigeración de cada alimento. Los usuarios podrán consultar el estado de los productos transportados y recibir alertas sobre cualquier desviación de temperatura que pueda comprometer la calidad de los alimentos.

9.1.3. **Control de Temperatura en Tiempo Real**

La propuesta de control de temperatura en tiempo real se basa en la base de datos de alimentos transportados, donde cada producto tiene definidas sus temperaturas máximas y mínimas aceptables, así como su tiempo máximo de transporte con cadena de frío. La aplicación generará alertas automáticas en tiempo real si se detecta alguna desviación en la temperatura de refrigeración de los alimentos durante el transporte. Esta función proporcionará a los usuarios una visión instantánea del estado de los productos transportados y les permitirá tomar medidas correctivas de manera proactiva para garantizar la calidad e inocuidad de los alimentos.

9.1.4. Gestión Individualizada de Refrigeradores

Además de la monitorización de la temperatura de los alimentos, se ofrecerá la capacidad de gestionar individualmente los refrigeradores utilizados en el transporte. Cada refrigerador estará identificado con un número de referencia único y se vinculará con el medio de transporte correspondiente. Los usuarios podrán realizar un seguimiento y control de la temperatura de cada refrigerador de manera individual a través de la aplicación, lo que permitirá un monitoreo preciso y eficiente de la cadena de frío.



9.2. Medición y Evaluación de la Adaptabilidad del Modelo

Para asegurar la utilidad a largo plazo del modelo de optimización de transporte, es crucial medir su adaptabilidad a cambios dinámicos en las condiciones del mercado, variaciones en la demanda y posibles obstáculos logísticos. A continuación, se describen las estrategias y métricas propuestas para evaluar esta adaptabilidad.

9.2.1. **Simulaciones y Escenarios de Prueba**

- **Desarrollo de Escenarios:** Crear diversos escenarios de prueba que incluyan cambios en la demanda, interrupciones logísticas y variaciones en las condiciones del mercado.
- **Simulación del Modelo:** Ejecutar el modelo bajo estos escenarios y evaluar su rendimiento.
- **Medición de Resultados:** Comparar los resultados obtenidos con los objetivos iniciales para ver cómo se adapta el modelo a las nuevas condiciones.

9.2.2. **Indicadores de Rendimiento Clave (KPI)**

- **Tiempo de Respuesta:** Medir cuánto tiempo tarda el modelo en adaptarse a nuevos datos o cambios en las condiciones del mercado.
- **Precisión de Predicciones:** Evaluar la precisión de las predicciones del modelo bajo diferentes condiciones.
- **Costo de Adaptación:** Analizar los costos asociados con la implementación de cambios sugeridos por el modelo.
- **Satisfacción del Cliente:** Realizar encuestas y recolectar retroalimentación para entender la percepción de los usuarios sobre la efectividad y adaptabilidad del modelo.
- **Evaluaciones de Eficiencia:** Calcular la eficiencia del modelo en términos de reducción de tiempos de entrega, disminución de costos operativos y mejoras en la utilización de recursos.

9.2.3. **Análisis de Sensibilidad**

- **Variación de Parámetros:** Ajustar los parámetros del modelo para ver cómo afectan los resultados.
- **Rango de Valores:** Identificar el rango dentro del cual el modelo mantiene su precisión y eficiencia.

9.2.4. **Pruebas A/B**

- **Comparación de Versiones:** Implementar diferentes versiones del modelo y comparar su desempeño bajo condiciones cambiantes.
- **Evaluación Continua:** Realizar pruebas periódicas para evaluar cómo cada versión del modelo maneja los cambios en tiempo real.

9.2.5. **Monitoreo en Tiempo Real**

- **Paneles de Control:** Utilizar paneles de control para monitorear el rendimiento del modelo en tiempo real.
- **Alertas y Notificaciones:** Configurar alertas para detectar rápidamente cuando el modelo comienza a desviarse de los resultados esperados.

9.2.6. **Feedback del Usuario**

- **Encuestas y Retroalimentación:** Obtener retroalimentación directa de los usuarios del sistema sobre su experiencia con la adaptabilidad del modelo.

- **Análisis de Uso:** Evaluar cómo los usuarios interactúan con el modelo y si pueden hacer ajustes fácilmente.

9.2.7. **Pruebas de Estrés**

- **Carga Máxima:** Evaluar el rendimiento del modelo bajo condiciones de alta demanda y carga máxima.
- **Interrupciones Simuladas:** Introducir fallos o interrupciones en el sistema para ver cómo el modelo se recupera.

9.2.8. **Métricas Específicas del Sector**

- **KPIs de Logística:** Utilizar métricas específicas del sector de la logística y el transporte, como tiempos de entrega, cumplimiento de rutas y eficiencia de carga.

Implementar estas estrategias de medición y evaluación, podrán asegurar que el modelo de optimización de transporte es adaptable a las cambiantes condiciones del mercado, garantizando su utilidad y eficiencia a largo plazo.

9.3. **Información y Datos**

Para implementar telemetría y recopilar datos necesarios para la gestión eficiente del transporte de alimentos refrigerados, se pueden utilizar varias fuentes y tecnologías. A continuación, se detallan algunas de las principales fuentes de datos y tecnologías que se pueden considerar:

9.3.1. Fuentes de Datos para la Telemetría

9.3.1.1. Sensores de Temperatura y Humedad:

- **Sensores IoT (Internet of Things):** Colocar sensores de temperatura y humedad dentro de los refrigeradores y vehículos de transporte para monitorear las condiciones en tiempo real.
- **Data Loggers:** Dispositivos que registran datos de temperatura y humedad en intervalos regulares, permitiendo descargar y analizar los datos posteriormente.

9.3.1.2. Sistemas GPS:

- **Dispositivos GPS en Vehículos:** Equipar los vehículos de transporte con sistemas GPS para rastrear la ubicación, velocidad y ruta en tiempo real.
- **Plataformas de Gestión de Flotas:** Utilizar software de gestión de flotas que integra datos GPS para proporcionar información sobre rutas, tiempos de entrega y eficiencia del transporte.

9.3.1.3. Software de Gestión de Transporte (TMS):

- **TMS:** Utilizar sistemas de gestión de transporte que recopilan datos sobre la logística, incluyendo horarios de salida y llegada, paradas, y datos del conductor.

9.3.1.4. **Etiquetas RFID y Códigos de Barras:**

- **RFID (Identificación por Radiofrecuencia):** Implementar etiquetas RFID en los productos para rastrear su ubicación y condición en tiempo real.
- **Escáneres de Códigos de Barras:** Utilizar códigos de barras y escáneres para registrar el movimiento y estado de los productos en diferentes puntos de la cadena de suministro.

9.3.1.5. **Telemetría de Vehículos:**

- **Telemetría del Motor:** Obtener datos del motor del vehículo como el consumo de combustible, el estado del motor y otros parámetros importantes.
- **Sistemas de Diagnóstico a Bordo (OBD-II):** Conectar dispositivos OBD-II a los vehículos para obtener datos diagnósticos y de rendimiento.

9.3.2. **Integración de Datos**

Para integrar y gestionar estos datos, se pueden utilizar plataformas de gestión de datos en la nube y software de análisis avanzado. Algunas opciones incluyen:

- **Plataformas IoT en la Nube:** AWS IoT, Azure IoT Hub, Google Cloud IoT.
- **Bases de Datos:** Bases de datos SQL/NoSQL para almacenar y gestionar grandes volúmenes de datos.

- **Software de Análisis de Datos:** Herramientas como Power BI, Tableau, o sistemas personalizados de análisis de datos para interpretar y visualizar los datos recogidos.

9.3.3. Implementación

9.3.3.1. Despliegue de Sensores y Dispositivos:

- Instalar sensores de temperatura y humedad en los refrigeradores y vehículos.
- Equipar los vehículos con dispositivos GPS y telemetría del motor.

9.3.3.2. Configuración de la Infraestructura de Comunicación:

- Configurar las redes de comunicación (Wi-Fi, 4G/5G) para la transmisión de datos.
- Integrar dispositivos IoT y sistemas GPS con plataformas de gestión en la nube.

9.3.3.3. Desarrollo de Software de Monitoreo:

- Desarrollar o implementar software para la recopilación, análisis y visualización de datos.
- Configurar alertas y notificaciones en tiempo real para desviaciones en las condiciones de temperatura y rutas de transporte.

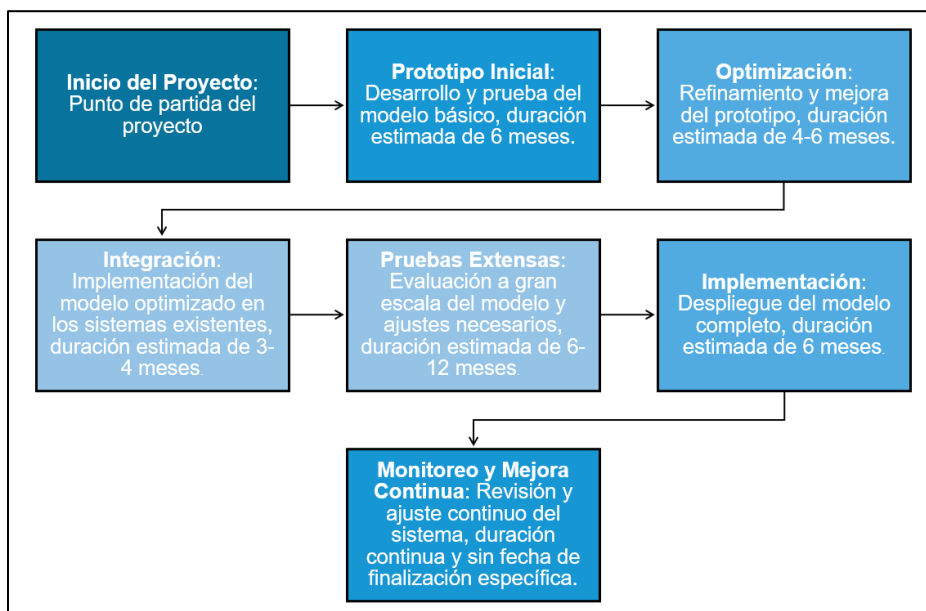
9.3.3.4. Capacitación y Pruebas:

- Capacitar al personal en el uso de los sistemas y dispositivos.
- Realizar pruebas piloto para asegurar la correcta recopilación y transmisión de datos.

Integrar estas fuentes de datos y tecnologías permitirá una telemetría eficiente y precisa, proporcionando una base sólida para la gestión y optimización del transporte de alimentos refrigerados.

9.4. Desarrollo Futuro del Proyecto

Este proyecto hace referencia a un prototipo inicial y se espera que, posterior a esta etapa, se realicen múltiples desarrollos adicionales. El siguiente diagrama de flujo (de elaboración propia) ilustra las diferentes etapas del desarrollo continuo del proyecto, destacando que el prototipo inicial es solo el primer paso de un proceso iterativo y progresivo.



9.4.1. Descripción de Etapas:

- I. **Inicio del Proyecto:** Punto de partida del proyecto.
- II. **Prototipo Inicial:** Desarrollo y prueba del modelo básico, duración estimada de 6 meses.
- III. **Optimización:** Refinamiento y mejora del prototipo, duración estimada de 4-6 meses.
- IV. **Integración:** Implementación del modelo optimizado en los sistemas existentes, duración estimada de 3-4 meses.
- V. **Pruebas Extensas:** Evaluación a gran escala del modelo y ajustes necesarios, duración estimada de 6-12 meses.
- VI. **Implementación:** Despliegue del modelo completo, duración estimada de 6 meses.
- VII. **Monitoreo y Mejora Continua:** Revisión y ajuste continuo del sistema, duración continua y sin fecha de finalización específica.

Este enfoque garantiza que el proyecto pueda adaptarse a cambios dinámicos en las condiciones del mercado, variaciones en la demanda y posibles obstáculos logísticos, asegurando su utilidad a largo plazo.

10. Conclusiones

10.1. Logros del Proyecto

El presente proyecto ha representado un esfuerzo integral para desarrollar un modelo de optimización de la eficiencia del sistema de gestión de transporte asistido por inteligencia artificial (IA) específicamente dirigido a la cadena de abastecimiento de alimentos en Bogotá, D. C. A lo largo de esta investigación, se han alcanzado una serie de logros significativos:

- **Desarrollo del Modelo:** Se ha logrado concebir y desarrollar un modelo innovador de optimización de transporte que tiene como objetivo principal mejorar la eficiencia y efectividad de la cadena de abastecimiento de alimentos en Bogotá. Este modelo se fundamenta en la aplicación de técnicas avanzadas de inteligencia artificial para la gestión óptima de rutas y la toma de decisiones en tiempo real.
- **Identificación de Desafíos:** A través del análisis exhaustivo de la cadena de abastecimiento de alimentos, se han identificado y comprendido en profundidad los principales desafíos y obstáculos que enfrenta este sector en Bogotá. Estos desafíos incluyen la congestión del tráfico, la variabilidad de la demanda y las regulaciones gubernamentales en materia de seguridad alimentaria.
- **Propuesta de Soluciones Innovadoras:** Sobre la base de los desafíos identificados, se han propuesto soluciones innovadoras y viables que buscan abordar eficazmente las necesidades específicas del sector de transporte de

alimentos en Bogotá. Estas soluciones se centran en la aplicación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados con la gestión logística.

10.2. Impacto y Beneficios

La implementación exitosa del modelo de optimización de transporte propuesto tendrá un impacto significativo y beneficioso en la cadena de abastecimiento de alimentos en Bogotá. Algunos de los impactos y beneficios esperados incluyen:

- **Mejora de la Eficiencia Operativa:** El modelo permitirá una gestión más eficiente y efectiva de las operaciones de transporte, optimizando las rutas, reduciendo los tiempos de entrega y minimizando los costos asociados con la cadena de suministro de alimentos.
- **Garantía de la Calidad e Inocuidad de los Alimentos:** La aplicación de tecnologías de monitoreo en tiempo real permitirá asegurar la integridad de los alimentos durante su transporte, garantizando que lleguen a su destino final en condiciones óptimas de frescura y calidad.
- **Reducción de la Huella Ambiental:** Al optimizar las rutas de transporte y reducir los tiempos de viaje, el modelo contribuirá a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales asociados con la logística de alimentos.

10.3. **Adaptabilidad y Flexibilidad del Modelo**

La evaluación de la adaptabilidad y flexibilidad del modelo desarrollado es crucial para asegurar su efectividad a largo plazo. El modelo puede ajustarse a cambios dinámicos en las condiciones del mercado y variaciones en la demanda, manteniendo su eficacia operativa en la gestión de transporte de alimentos en Bogotá.

- **Evaluación de la Adaptabilidad:** La incorporación de un sistema de medición y evaluación de la adaptabilidad del modelo ha permitido comprobar su capacidad para ajustarse a cambios dinámicos en las condiciones del mercado, variaciones en la demanda y obstáculos logísticos. Esto asegura que el modelo no solo es útil en su configuración actual, sino que puede evolucionar y mantenerse efectivo a largo plazo.
- **Simulaciones y Pruebas de Estrés:** Las simulaciones y escenarios de prueba han demostrado que el modelo puede manejar diversas condiciones operativas sin comprometer la eficiencia. Las pruebas de estrés han sido cruciales para identificar y mitigar posibles puntos de fallo, fortaleciendo la robustez del sistema.

10.4. **Implementación de Tecnologías de Telemetría**

La integración de tecnologías de telemetría en el modelo permite un monitoreo en tiempo real de las condiciones de transporte de alimentos. El uso de sensores IoT, sistemas GPS y software de gestión mejora la calidad e inocuidad de los alimentos durante toda la cadena de suministro en Bogotá.

- **Monitoreo en Tiempo Real:** La integración de sensores IoT, sistemas GPS y software de gestión de transporte ha permitido un monitoreo en tiempo real de las condiciones de transporte, particularmente en lo que respecta a la temperatura y humedad, cruciales para la integridad de los alimentos refrigerados.
- **Alertas Proactivas:** La capacidad del sistema para generar alertas automáticas en tiempo real en caso de desviaciones en las condiciones de transporte ha mejorado significativamente la capacidad de respuesta y la toma de decisiones, asegurando la calidad e inocuidad de los alimentos durante toda la cadena de suministro.

10.5. **Limitaciones y Áreas de Mejora**

A pesar de los logros alcanzados, el proyecto también ha enfrentado ciertas limitaciones y áreas de mejora que deben abordarse en futuras investigaciones:

- **Infraestructura Tecnológica:** La implementación efectiva del modelo requiere una infraestructura tecnológica sólida y confiable, lo que puede representar un desafío en algunos contextos, especialmente en áreas con recursos limitados.
- **Capacitación del Personal:** Es fundamental proporcionar una capacitación adecuada al personal involucrado en la implementación y operación del modelo, para garantizar su correcta comprensión y utilización.

- Integración con Otros Sistemas: Para una implementación exitosa a largo plazo, el modelo debe integrarse de manera efectiva con otros sistemas y procesos existentes en la cadena de abastecimiento de alimentos.

11. RECOMENDACIONES

11.1. Continuidad del Proyecto

Se recomienda continuar con el desarrollo e implementación del modelo de optimización de transporte, asegurando una colaboración estrecha entre todas las partes interesadas, incluidos proveedores, transportistas y clientes finales.

Se insta a establecer un sistema continuo de monitoreo y retroalimentación utilizando métricas y KPIs definidos para evaluar la adaptabilidad del modelo en tiempo real, permitiendo ajustes proactivos para mantener la eficiencia operativa frente a cambios dinámicos en el entorno.

Es crucial establecer mecanismos de monitoreo y evaluación para medir el impacto del modelo en la cadena de abastecimiento y realizar ajustes necesarios para mejorar su eficacia y eficiencia.

También, es fundamental asegurar una inversión continua en infraestructura tecnológica y dispositivos de telemetría avanzada, incluyendo la actualización de sensores, sistemas de comunicación y plataformas de análisis de datos para mantener la precisión y fiabilidad del modelo.

11.2. Capacitación y Desarrollo de Capacidades

Se debe asegurar la implementación de programas de formación técnica avanzada para el personal encargado de la operación y gestión del sistema. Se sugiere proporcionar capacitación completa al personal involucrado en la implementación y operación del modelo para promover una adopción exitosa en toda la organización.

Es crucial sensibilizar sobre la importancia de la adaptabilidad y la flexibilidad del modelo entre todos los actores de la cadena de suministro, incluyendo la formación sobre cómo interpretar alertas y métricas generadas por el sistema y responder adecuadamente a los cambios detectados. Una comprensión profunda de las tecnologías implementadas y su potencial impacto permitirá una utilización más eficaz y optimizada del modelo.

11.3. Investigación y Desarrollo Continuos

Se recomienda continuar con la investigación y desarrollo en el campo de la gestión de transporte e inteligencia artificial para identificar nuevas oportunidades de mejora y mantenerse al día con las tendencias y avances tecnológicos en la industria. Se deben explorar nuevas tecnologías emergentes como inteligencia artificial avanzada, aprendizaje automático y blockchain para la trazabilidad de alimentos, que puedan integrarse en el modelo.

Es crucial implementar un enfoque iterativo para el desarrollo y mejora del modelo, asegurando que cada nueva versión incorpore lecciones aprendidas y avances tecnológicos recientes. Esto incluye realizar pruebas A/B y evaluar continuamente diferentes versiones del modelo para seleccionar las más efectivas.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEN Business Magazine. (19 de Julio de 2023). La Nueva Era de la Logística: Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro. *ADEN Business Magazine*.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- Carvajal Uribe, M. A. (2016). Análisis sobre el incumplimiento de la normatividad vigente frente a la cadena de frío en la red de distribución de las pymes del sector cárnico de bovinos en Bogotá. *Revista ingeniería, matemáticas y ciencias de la información* (<https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=27109>), págs. 59-67.
- Chui M., C. M. (2020). El Internet de las Cosas llega a la mayoría de edad. *McKinsey & Company*.
- Grupo Carbo Collbatallé. (2020). La cadena del frío de los productos lácteos. <https://jcarbo.com/es/cadena-frio-productos-lacteos/>.
- John J. Coyle, C. J. (2017). *Administración de la cadena de suministro: una perspectiva logística*. México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Jutinico Rodríguez, A. M. (2023). Propuesta de prototipo de un sistema de gestión del seguimiento en tiempo real de los buses urbanos SITP por medio de GPS desde un terminal de consulta. <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/12845?locale-attribute=en>.

- Neira Quesada, E. L. (2018). *Organización de tecnologías y procesos de calidad en la cadena de frío en Colombia*. Bogotá, D. C.
- Ochoa, N. E. (2023). Big Data y áreas de oportunidad para la proyección del Sistema Inteligente de Transporte en Bogotá, Colombia. *RHS: Revista Humanismo y Sociedad*.
- Reza Toorajipour, V. S. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research* (www.elsevier.com/locate/jbusres), págs. 502-517.
- Sunil Chopra, P. M. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson Educación.
- Vargas, W. &. (2021). *Modelo de planeación de rutas para los usuarios de Bogotá*. In *Proceedings 3rd Congress in Geomatics Engineering*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.