**COMANDO GENERAL DEL EJÉRCITO**

**ESCUELA MILITAR DE INGENIERÍA**

**“MCAL. ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**

**BOLIVIA**

**Imagen que contiene texto

Descripción generada automáticamentePROYECTO FINAL**

**SISTEMA WEB DE DISTRIBUCIÓN DE COCA-COLA CON MÓDULO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE ENTREGA, CALCULO DE COSTOS Y SIMULACIÓN NUMÉRICA**

**CRESPO ARRIARAN NATALY NICOLE**

**CRUZ SERRANO SHARAID GABRIELA**

**OCAMPO VALDIVIA JOAQUÍN RODRIGO**

**SOSSA CHUGAR THIAGO LEONARDO**

**COCHABAMBA - BOLIVIA**

INDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO

[1 INTRODUCCIÓN 1](#_Toc183045675)

[2 ANTECENTES 1](#_Toc183045676)

[3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2](#_Toc183045677)

[3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 2](#_Toc183045678)

[3.2 ANÁLISIS CAUSA EFECTO 3](#_Toc183045679)

[3.2.1 CAUSAS 3](#_Toc183045680)

[3.2.2 EFECTOS 3](#_Toc183045681)

[3.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3](#_Toc183045682)

[4 OBJETIVOS 4](#_Toc183045683)

[4.1 OBJETIVOS GENERAL 4](#_Toc183045684)

[4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 4](#_Toc183045685)

[5 JUSTIFICACIÓN 5](#_Toc183045686)

[5.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA 5](#_Toc183045687)

[5.2 JUSTIFICACIÓN operativa 5](#_Toc183045688)

[5.3 justificación económica 5](#_Toc183045689)

[6 MARCO TEÓRICO 6](#_Toc183045690)

[6.1 Sistema web de optimización logística 6](#_Toc183045691)

[6.2 Modelo de grafos 6](#_Toc183045692)

[6.3 Algoritmos de flujo máximo 7](#_Toc183045693)

[6.3.1 Cartero Chino 7](#_Toc183045694)

[6.4 Base de datos logística 8](#_Toc183045695)

[6.5 Ecuación de demanda y oferta 8](#_Toc183045696)

[6.6 Optimización de predicción 9](#_Toc183045697)

[6.6.1 Método Runge-Kutta 9](#_Toc183045698)

[6.7 Costo mínimo de transporte 11](#_Toc183045699)

[6.8 Rutas óptimas en tiempo real 13](#_Toc183045700)

[7 INGENIERÍA DEL PROYECTO 13](#_Toc183045701)

[8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 13](#_Toc183045702)

[8.1 CONCLUSIONES 13](#_Toc183045703)

[8.2 RECOMENDACIONES 13](#_Toc183045704)

[9 Bibliografía 13](#_Toc183045705)

[Anexos 1](#_Toc183045706)

Índice de ecuaciones

[Ecuación 1: Runge Kutta 4 9](#_Toc183044533)

Índice de anexos

[Anexo A: Variable del objetivo general 1](#_Toc182790792)

[Anexo B: Variable del objetivo específico 1 1](#_Toc182790793)

[Anexo C: Variable del objetivo específico 2 2](#_Toc182790794)

[Anexo D: Variable del objetivo específico 3 2](#_Toc182790795)

[Anexo E: Variable del objetivo específico 4 3](#_Toc182790796)

[Anexo F: Variable del objetivo específico 5 3](#_Toc182790797)

[Anexo G: Variable del objetivo específico 6 4](#_Toc182790798)

[Anexo H: Variable del objetivo específico 7 5](#_Toc182790799)

[Anexo I: Variable del objetivo específico 8 5](#_Toc182790800)

[Anexo J: Variable del objetivo específico 9 6](#_Toc182790801)

# INTRODUCCIÓN

En la logística y distribución de productos, la optimización de rutas y la precisión en la predicción de demanda son factores críticos para garantizar la eficiencia, reducir costos y satisfacer la demanda de los clientes. La empresa Embonor SA, al manejar productos perecederos, enfrenta desafíos únicos que requieren soluciones avanzadas, ya que el deterioro de los productos y la disponibilidad de frescura influyen directamente en su rentabilidad y servicio al cliente. Este proyecto se enfoca en diseñar un sistema web que incorpore algoritmos avanzados como Runge-Kutta, el problema del cartero chino y programación lineal para crear rutas de entrega óptimas, minimizar costos de transporte y predecir con precisión la demanda. La implementación de esta solución busca no solo mejorar la eficiencia operativa de Embol SA, sino también adaptarse a las condiciones específicas de distribución de productos perecederos, garantizando la satisfacción.

# ANTECENTES

La Escuela Militar de Ingeniería es un centro de estudios con especialidad en ingeniería de Bolivia. La EMI es una institución pública de Educación Superior Universitaria, en lo académico se rige por las normas y preceptos académicos establecidos por el sistema de la Universidad Boliviana. Fundada 10 de noviembre de 1950, con el objetivo de proporcionar una educación técnica y científica de alta calidad, ya en 1936 tres espacios establecieron antecedentes y posibilitaron su creación: la Escuela de Transmisiones, que formaba ingenieros eléctricos; el Instituto Geográfico Militar, cuyo campo era la Topografía y Geodesia “Tcnl. Juan Ondarza, y la Escuela Central Técnica, que formaba técnicos ferrocarrileros y mecánicos.  
Con el objetivo de posicionarme como una de las mejores universidades del país, la Escuela Militar de Ingeniería cuenta con una extensa oferta educativa. Incluye niveles de pregrado, grado y posgrado.

La Escuela Militar de Ingeniería (EMI) “Mcal. Antonio José de Sucre” se distingue por su formación técnica y científica de alta calidad, fomentando en sus estudiantes el desarrollo de competencias que les permita abordar problemáticas reales con soluciones innovadoras. Como parte de este compromiso académico, se realiza el análisis de casos y estudios relacionados con el ámbito empresarial y económico. En este marco, el artículo científico *“El estudio de las características de las empresas EMBOL SA y CBN SA para la determinación de la competencia a la que pertenecen, en qué nivel influye esto en los precios y el equilibrio de sus productos”* (Erwin Saavedra, Brandon Cadima, Cinthya Bozo y Cristian Perez, 2021)La conclusión central del artículo es que a pesar de que Coca-Cola tiene un precio mayor que Pepsi, los consumidores de Cochabamba muestran una mayor preferencia por esta marca. Este hallazgo es sorprendente dado que, en general, se esperaría que los consumidores se inclinen por productos más económicos. Según (Erwin Saavedra, Brandon Cadima, Cinthya Bozo y Cristian Perez, 2021) estos factores que influye a la decisión de las personas están entre: la percepción de la marca Coca-Cola, hábitos de consumo, disponibilidad, publicidad entre otros. Aunque este artículo no ofrece un análisis económico exhaustivo, su aporte inicial resulta valioso para comprender factores como percepción de marca, hábitos de consumo, disponibilidad y estrategias publicitarias, los cuales son fundamentales para el desarrollo de la optimización de la logística de la distribución de Embonor S.A. empresa que enfrenta desafíos debido a la creciente complejidad en la planificación de rutas de entrega y análisis de costos. Estas problemáticas resaltan la necesidad de herramientas tecnológicas innovadoras que potencien la formación académica y contribuyan a la resolución de problemas reales en escenarios de alta exigencia operativa.

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación, se describe el planteamiento del problema y el análisis causa efecto.

## IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa "Embonor S.A." enfrenta altos costos de transporte en su proceso de distribución de productos, lo que afecta la ganancia de sus operaciones. Además, las entregas a múltiples clientes presentan dificultades para garantizar que los paquetes lleguen de manera eficiente, dentro de los tiempos establecidos, y cumpliendo con las capacidades de los vehículos disponibles. Estas limitaciones generan retrasos y sobrecostos operativos.

Por otro lado, la empresa enfrenta incertidumbre en la predicción de la demanda del producto exclusivo Coca-Cola, debido a factores como la variabilidad en las tendencias de consumo y las condiciones cambiantes del transporte. Esta falta de precisión complica la planificación logística y puede provocar problemas de disponibilidad del producto, afectando la satisfacción del cliente y el posicionamiento en el mercado.

## ANÁLISIS CAUSA EFECTO

### CAUSAS

* Ineficiente asignación de vehículos sin tomar en cuenta la capacidad de carga de cada vehículo.
* Improductiva planificación de rutas que no se ajustan a las necesidades del pedido.
* Predicción inexacta de la demanda generando una sobreproducción o escasez del producto.

### EFECTOS

* Recorridos innecesarios por una mala asignación de las rutas para los conductores.
* Mala utilización de los recursos de la empresa SOBRECOSTOS.
* Inconformidad de los clientes por esperas largas del tiempo de la entrega

## FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo puede Embonor SA optimizar las rutas de distribución y asignación de pedidos a su flota de vehículos, minimizando costos y garantizando la entrega oportuna del producto exclusivo, mientras predice con precisión la demanda para evitar pérdidas por deterioro y satisfacer la demanda de productos?

# OBJETIVOS

## OBJETIVOS GENERAL

Desarrollar un sistema web de distribución de Coca – Cola con módulo de optimización de rutas de entrega, cálculo de costos de transporte y simulación numérica para mejorar la eficiencia logística, minimizar los costos operativos y garantizar la disponibilidad del producto exclusivo.

## OBJETIVOS ESPECIFICOS

* Definir un modelo de grafos que represente de manera precisa la problemática de la planificación de rutas logísticas.
* Aplicar algoritmos específicos de grafos, particularmente aquellos relacionados con el flujo máximo, para resolver la minimización de la distancia, el tiempo total de viaje, y el costo asociado a las rutas de entrega.
* Crear una base de datos capaz de almacenar ubicaciones, itinerarios de los distribuidores, datos de cada vehículo, información de las rutas, y de diversos pedidos.
* Encontrar una ecuación de la Demanda y Oferta en función del tiempo que satisfaga las diferentes constantes y datos existentes.
* Implementar el método de Runge-Kutta de cuarto orden para optimizar la predicción de la demanda de productos y la capacidad máxima de carga de los vehículos, ajustándolo a las condiciones específicas de cada escenario operacional de transporte.
* Implementar el método de Vogel en el sistema para calcular el costo mínimo de transporte, optimizando la asignación de pedidos a los vehículos y minimizando los costos de los recorridos.
* Crear un módulo dentro del sistema que permita sugerir rutas óptimas en tiempo real, considerando factores como distancia, tráfico y tiempo estimado de llegada.
* Diseñar una interfaz intuitiva y funcional con inicio de sesión personalizado para cada usuario, que incluye la generación de notificaciones específicas según las necesidades identificadas.
* Crear informes detallados de simulación que resuman la demanda proyectada y la capacidad de transporte requerida, proporcionando información clave para la toma de decisiones.

# JUSTIFICACIÓN

## JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La implementación de un sistema web, respaldado por una base de datos capaz de almacenar información detallada sobre ubicaciones, itinerarios, vehículos y pedidos, proporcionará una plataforma técnica eficiente para la toma de decisiones en tiempo real. La integración con la API de Google Maps también permitirá una optimización dinámica de las rutas según condiciones de tráfico, mejorando la precisión en los tiempos de entrega. El diseño de la plataforma está basado en tecnologías escalables que pueden adaptarse fácilmente a cambios futuros, como el aumento de la flota de vehículos o la expansión de la operación. Además, se incorporan sistemas de simulación y reporte para evaluar y ajustar las estrategias operativas continuamente.

## JUSTIFICACIÓN operativa

Con la implementación de modelos predictivos y el ajuste de la producción a las necesidades reales del mercado, la empresa podrá evitar problemas de sobreproducción o desabastecimiento. Esto mejora la gestión de inventarios y reduce el riesgo de perder productos perecederos debido al deterioro. El sistema estará diseñado para adaptarse a las variaciones de demanda y las condiciones operativas cambiantes, como el tráfico, las inclemencias del tiempo y los ajustes en los horarios de entrega. Esto permitirá a Embonor S.A. mantenerse ágil en un entorno logístico dinámico, asegurando que se puedan cumplir las expectativas de los clientes en todo momento.

## justificación económica

Al predecir la demanda con mayor precisión, la empresa evitará el exceso de inventario, lo que disminuirá los costos relacionados con el almacenamiento y la gestión de productos perecederos. Además, se minimizará el riesgo de deterioro de productos debido a un exceso de stock o la escasez que podría causar pérdida de ventas. Una distribución más eficiente no solo reducirá costos, sino que también mejorará la satisfacción del cliente, lo que puede resultar en un aumento de la fidelidad de los consumidores y una mayor participación en el mercado. Esto se traduce en mayores ingresos y una mejora de la rentabilidad para la empresa.

# MARCO TEÓRICO

## Sistema web de optimización logística

Un sistema web integra procesos organizacionales mediante tecnología accesible y rápida. Además, mejora la capacidad de manejo de información en tiempo real, permitiendo decisiones más efectivas. Sus características incluyen rendimiento, escalabilidad y seguridad, adaptándose a las exigencias del mercado y los usuarios. (Romero & Salazar, 2024, pág. 25)

Un sistema web permitirá integrar procesos logísticos de manera eficiente, utilizando tecnología accesible y rápida. Esto mejorará el manejo de información en tiempo real, optimizando la toma de decisiones operativas y estratégicas. Con características como rendimiento, escalabilidad y seguridad, el sistema se adaptará a las necesidades de Embonor S.A. y las exigencias del mercado. Además, su capacidad para gestionar información clave garantizará operaciones más organizadas y una mayor competitividad en la distribución logística.

## Modelo de grafos

La teoría de grafos es una herramienta clave en la modelización de redes de transporte y logística. Este modelo permite representar sistemas complejos mediante nodos (ubicaciones) y aristas (conexiones), proporcionando una estructura visual que facilita la resolución de problemas. Utilizando algoritmos como Dijkstra o Bellman-Ford, se pueden identificar rutas óptimas y analizar medidas de centralidad, reduciendo costos y tiempos. Además, los grafos permiten detectar cuellos de botella en la red, mejorando la eficiencia operativa y estratégica de la logística. (Melena, 2023, pág. 8)

La teoría de grafos es fundamental para modelar y optimizar la red de transporte y logística. Permitirá representar rutas mediante nodos y aristas, proporcionando una estructura clara para identificar problemas y soluciones. Con algoritmos como Dijkstra o Bellman-Ford, se podrán encontrar rutas óptimas, reducir costos y tiempos operativos, y analizar medidas de centralidad. Además, ayudará a detectar cuellos de botella, mejorando la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas en la distribución logística.

## Algoritmos de flujo máximo

En el ámbito logístico, los algoritmos de flujo máximo se aplican para resolver problemas de asignación de recursos, optimización de rutas y distribución en redes complejas. Utilizan técnicas como la identificación de nodos críticos y la evaluación de restricciones dinámicas para ajustar el flujo. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también minimiza costos y tiempos de procesamiento, convirtiéndose en una herramienta estratégica en la planificación y ejecución de operaciones logísticas. (Wesner, 2015, pág. 16)

Los algoritmos de flujo máximo serán fundamentales para optimizar la asignación de recursos y mejorar la eficiencia en la distribución logística. Estas herramientas permitirán identificar nodos críticos y evaluar restricciones dinámicas para ajustar los flujos de transporte, asegurando un uso eficiente de los recursos disponibles. Además, su capacidad para minimizar costos y reducir tiempos de procesamiento los convierte en una solución estratégica para planificar y ejecutar operaciones logísticas complejas, maximizando la productividad y competitividad de Embonor S.A.

### Cartero Chino

El Problema del Cartero Chino (PCC) consiste en determinar el circuito más corto que recorre todas las aristas de un grafo al menos una vez, regresando al punto inicial. Es aplicable en logística y transporte, como en el diseño de rutas para recolección de basura, distribución de correo o patrullaje policial. Este problema se resuelve más fácilmente si el grafo es Euleriano, es decir, cuando todos los nodos tienen grado par. En caso contrario, se deben agregar aristas duplicadas para convertirlo en Euleriano, lo que incrementa su complejidad. Su solución emplea métodos de programación lineal y heurísticas para manejar escenarios logísticos más grandes y complejos. (Wesner, 2015)

El Problema del Cartero Chino (PCC) será una herramienta clave para optimizar la logística de distribución al identificar el circuito más corto que recorra todas las rutas necesarias al menos una vez, minimizando tiempo y costos. Su aplicación permitirá diseñar rutas eficientes para escenarios logísticos complejos, como la distribución de productos de Embonor S.A., asegurando que todas las aristas de la red sean cubiertas de manera óptima.

Si el grafo de distribución es Euleriano, la solución será directa, reduciendo la carga computacional. Sin embargo, en grafos no Eulerianos, las técnicas de duplicación de aristas y métodos heurísticos garantizarán la viabilidad de las soluciones, adaptándose a las necesidades específicas de tu proyecto. Este enfoque contribuirá a mejorar la planificación operativa, optimizar los recursos y maximizar la eficiencia en la red de transporte, alineándose con los objetivos estratégicos de tu sistema.

## Base de datos logística

## Ecuación de demanda y oferta

Las ecuaciones de oferta y demanda reflejan el equilibrio dinámico entre la cantidad ofrecida y demandada de un producto o servicio. Se modelan mediante ecuaciones diferenciales que consideran parámetros como precio, inventario y constantes de proporcionalidad. Este enfoque permite ajustar la oferta y demanda en función del tiempo, asegurando la sostenibilidad operativa y mejorando la predicción de tendencias de mercado. (Cobo, 2020, pág. 5)

Las ecuaciones de oferta y demanda desempeñarán un papel clave al proporcionar un marco matemático para comprender y gestionar el equilibrio dinámico entre la disponibilidad de productos y las necesidades del mercado. Al modelar este equilibrio mediante ecuaciones diferenciales, podrás integrar parámetros críticos como precio, inventario y constantes de proporcionalidad que influyen en las decisiones operativas. Este enfoque permitirá ajustar la oferta y la demanda en tiempo real, adaptándose a cambios en el mercado y asegurando una planificación logística más precisa.

Además, estas ecuaciones mejorarán la capacidad predictiva del sistema, anticipando tendencias de mercado y permitiendo la toma de decisiones estratégicas basadas en datos. Esto no solo optimizará la asignación de recursos logísticos, como rutas y capacidad de transporte, sino que también garantizará la sostenibilidad operativa a largo plazo. En un entorno empresarial competitivo, estas herramientas matemáticas ayudarán a Embonor S.A. a mantener su eficiencia y alinearse con las expectativas del mercado, mejorando la rentabilidad y la satisfacción del cliente.

## Optimización de predicción

La optimización en modelos de predicción mejora la calidad de los resultados ajustando tiempo de procesamiento y precisión. Es clave en sectores como transporte y logística, donde se optimizan recursos, balances de carga y distribución para aumentar la eficiencia organizacional. Este enfoque permite implementar procedimientos exactos que impactan positivamente en la toma de decisiones estratégicas y operativas. (Bermúdez Colina, 2011, pág. 4)

La optimización en modelos de predicción será una herramienta esencial para mejorar la precisión y rapidez en la toma de decisiones logísticas. Este enfoque permitirá anticipar demandas, ajustar balances de carga y optimizar la distribución de recursos, asegurando una mayor eficiencia operativa. Al reducir tiempos de procesamiento y mejorar la calidad de los resultados, impactará positivamente en la gestión estratégica de la logística de Embonor S.A., alineando las operaciones con los objetivos organizacionales y aumentando la competitividad en el mercado.

### Método Runge-Kutta

El método Runge-Kutta de cuarto orden es una técnica numérica de alta precisión para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias. Utiliza múltiples evaluaciones en puntos intermedios dentro de un intervalo para calcular la solución aproximada, lo que permite minimizar errores acumulados y mejorar la estabilidad del cálculo. Este método es ideal para modelar sistemas dinámicos en logística, como flujos de transporte y predicción de demandas, ya que maneja eficientemente variaciones rápidas y comportamientos no lineales en escenarios complejos. (Escandon, 2020, pág. 18)

El método Runge-Kutta de cuarto orden será clave para lograr simulaciones y predicciones precisas en la logística de Embonor S.A. Su capacidad para resolver ecuaciones diferenciales con alta precisión permitirá modelar sistemas dinámicos como flujos de transporte y predicción de demandas. Al utilizar evaluaciones intermedias dentro de intervalos, minimizará errores acumulados y mejorará la estabilidad del cálculo, adaptándose eficientemente a cambios rápidos y comportamientos no lineales. Esto garantizará una planificación logística más confiable, optimizando recursos y reduciendo riesgos en escenarios complejos.

El método Runge-Kutta, específicamente en su versión de cuarto orden (RK4), es un procedimiento iterativo que integra ecuaciones diferenciales utilizando cuatro evaluaciones intermedias por paso, optimizando la precisión del resultado. Este enfoque equilibra el costo computacional con la exactitud requerida, siendo ampliamente empleado en simulaciones logísticas y predicciones de comportamientos operativos. Su capacidad para adaptarse a modelos dinámicos lo convierte en una herramienta esencial para problemas que requieren simulaciones robustas y resultados confiables en escenarios de alta complejidad. (Escandon, 2020, pág. 19)

Ecuación : Runge Kutta 4

|  |
| --- |
|  |

Fuente: Para resolver estas ecuaciones se crea una función en Mathematica que resuelve un modelo de ecuaciones diferenciales ordinarias por el método Runge-Kutta orden 4. (Escandon, 2020)

El método Runge-Kutta de cuarto orden (RK4) será esencial para integrar ecuaciones diferenciales con alta precisión y eficiencia computacional. Este enfoque, que utiliza cuatro evaluaciones intermedias por paso, permitirá modelar y predecir comportamientos operativos de forma confiable, optimizando recursos y mejorando la toma de decisiones. Su capacidad para adaptarse a modelos dinámicos lo hace ideal para gestionar escenarios logísticos complejos, como variaciones en la demanda y ajustes en flujos de transporte, garantizando simulaciones robustas y resultados precisos.

## Costo mínimo de transporte

El método de Vogel se utiliza para minimizar costos en el transporte logístico asignando recursos eficientemente entre orígenes y destinos. A través de una serie de iteraciones con ajustes en las matrices de transporte, se determinan rutas óptimas que garantizan un costo total reducido. Este método es particularmente efectivo para empresas con múltiples puntos de distribución y grandes volúmenes de carga. (Cueva, 2021, pág. 65)

El método de Vogel será una herramienta esencial para optimizar la logística y reducir costos operativos. Este método permitirá asignar eficientemente los recursos entre orígenes y destinos mediante ajustes iterativos en las matrices de transporte, asegurando rutas óptimas y minimizando el costo total. Su implementación será especialmente relevante para Embonor S.A., que maneja múltiples puntos de distribución y grandes volúmenes de carga. Este enfoque no solo mejorará la eficiencia operativa, sino que también garantizará una asignación estratégica de recursos, incrementando la competitividad y optimizando la relación entre costos y tiempos de entrega. Además, facilitará la toma de decisiones basadas en datos analíticos, alineando la logística con los objetivos de sostenibilidad y rentabilidad de la empresa.

En su enfoque de programación lineal, Bazaraa plantea el problema del transporte como un modelo de optimización para minimizar costos totales, considerando restricciones de oferta y demanda. Este enfoque permite calcular flujos factibles y óptimos que satisfacen todas las condiciones de los orígenes y destinos. Aunque tiene limitaciones como la homogeneidad de productos, es una herramienta útil para estimar costos de oportunidad y mejorar la asignación de recursos. (Islas Rivera, Rivera Trujillo, & Torres Vargas, 2002, pág. 60)

El enfoque de programación lineal planteado por Bazaraa será una herramienta fundamental para abordar el problema del transporte logístico de manera estratégica y eficiente. Este modelo permitirá minimizar los costos totales mediante la optimización de los flujos logísticos, garantizando que las restricciones de oferta y demanda en los orígenes y destinos se cumplan de manera precisa. Su capacidad para calcular flujos factibles y óptimos asegurará que los recursos sean asignados de forma eficiente, mejorando significativamente la planificación y operación logística. Aunque tiene limitaciones, como asumir la homogeneidad de los productos, su utilidad en la estimación de costos de oportunidad permitirá evaluar decisiones alternativas y priorizar rutas o estrategias que generen mayor valor para la empresa. Además, este enfoque es ideal para empresas como Embonor S.A., que buscan alinear su logística con objetivos de sostenibilidad, reducción de costos y competitividad en mercados de alta demanda.

## Rutas óptimas en tiempo real

# INGENIERÍA DEL PROYECTO

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

## RECOMENDACIONES

# Bibliografía

Bermúdez Colina, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. En *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias* (págs. 85-104). Carabobo: Universidad de Carabobo.

Cambel, A. B. (1993). *Applied Chaos Theory: A Paradigm for Complexity.* Washington D.C.: Academic Press.

Cobo, C. J. (2020). *MÉTODOS NUMÉRICOS DE RESOLUCIÓN DE ECUACIONES DIFERENCIALES.* Jaen: Universidad de Jaen.

Cueva, C. D. (2021). *Estrategia de distribución bajo modelo aproximación Vogel para minimizar costos en servicio transporte de carga.* Ecuador: Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil.

Erwin Saavedra, Brandon Cadima, Cinthya Bozo y Cristian Perez. (2021). EL ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LASEMPRESAS EMBOL S.A. y CBN S.A. PARA LADETERMINACIÓN DE LA COMPETENCIA A LA QUEPERTENECEN, EN QUE NIVEL INFLUYE ESTO EN LOSPRECIOS Y LA CANTIDAD DE EQUILIBRIO DE SUSPRODUCTOS. *LAS Empresas Embol S A y CBN S A*. Cochabamba, Bolivia: Escuela Militar de Ingenieria.

Escandon, J. S. (2020). *ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS NUMÉRICOS EN ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS UTILIZANDO MATHEMATICA.* Tarragona: Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información.

Islas Rivera, V., Rivera Trujillo, C., & Torres Vargas, G. (2002). *ESTUDIO DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE.* Mexico: SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

Jay Heiser y Barry Render. (2017). *Administración de operaciones .* USA: Pearson - Prentice Hall.

Melena, J. E. (2023). APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE GRAFOS EN LA OPTIMIZACIÓN DE REDES DE TRANSPORTE. *CINTE*, 14.

Murillo, P. (18 de Abril de 2008). *La investigación científica*. Obtenido de http//www.monografias.com/trabajos15/invest-científica/investcientífica.shtm

Romero, F. V., & Salazar, P. J. (2024). *Implementación de un Sistema web para optimizar el funcionamiento de la gestión logística del área de almacén de la cadena de Restaurantes Vista al Mar de la ciudad de Lima - 2024.* Lima - Perú: Universidad Tecnoclogíca del Perú.

Sánchez, C. H. (1986). *Metodología de la investigación .* Lima: San Marcos.

Triana, C. A. (2017). Estudio de algunos ejemplos y problemas de la Teoría del Caos. *Trabajo de grado*. Bogota, Colombia.

Universidad de la República. (2017). *Etapas de la investigación bibliográfica.* Montevideo: Universidad de la República.

Wesner, F. B. (2015). *Tecnicas de programacion lineal entera para la optimizacion de la recoleccion de residuos reciclables en el Municipio de Moron.* Buenos Aires.

Anexos

Anexo A: Variable del objetivo general

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Desarrollar un sistema web de distribución de Coca – Cola con módulo de optimización de rutas de entrega, cálculo de costos de transporte y simulación numérica para mejorar la eficiencia logística, minimizar los costos operativos y garantizar la disponibilidad del producto. | Sistema web de optimización logística | Plataforma digital basada en tecnología web que utiliza algoritmos avanzados (Runge-Kutta, cartero chino y programación lineal) para mejorar la planificación y distribución logística mediante la generación de rutas óptimas y simulaciones de escenarios reales. | - Tiempo promedio de entrega optimizado.  - Precisión en la simulación y predicción de rutas óptimas. | - Modelado matemático y programación lineal.  - Implementación de algoritmos Heurísticos.  - Diseño y desarrollo del sistema web. | Documentación interna de Embonor S.A.  - Estudios matemáticos sobre Runge-Kutta y programación lineal.  - Referencias académicas sobre optimización logística y algoritmos de grafos.  - Datos logísticos históricos de la empresa. | -Frameworks de desarrollo web (Spring Boot  - Lenguajes de programación (Java).  - Google Maps API para rutas en tiempo real.  - PostgreSQL para bases de datos. |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo B: Variable del objetivo específico 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Definir un modelo de grafos que represente de manera precisa la problemática de la planificación de rutas logísticas. | Modelo de grafos | Representación matemática de la red logística mediante nodos (ubicaciones) y aristas (conexiones) para modelar rutas y restricciones logísticas. | - Número de nodos y aristas definidas.  - Precisión del modelo en la representación del sistema logístico.  - Adaptabilidad a condiciones reales. | Análisis de grafos. | Documentación sobre teoría de grafos.  Datos de rutas.  Publicaciones académicas relacionadas. | Dependencia de spring boot jgrapht-core  Google Maps API |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo C: Variable del objetivo específico 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Aplicar algoritmos específicos de grafos, particularmente aquellos relacionados con el flujo máximo, para resolver la minimización de la distancia, el tiempo total de viaje, y el costo asociado a las rutas de entrega. | Algoritmos de flujo máximo | Métodos computacionales que optimizan el transporte identificando rutas eficientes para minimizar distancia, tiempo y costos logísticos. | - Reducción en la distancia promedio por ruta.  - Tiempo total de viaje optimizado.  - Costos logísticos reducidos. | Implementación de algoritmos.  Análisis de resultados. | Publicaciones sobre algoritmos.  Estudios previos en optimización logística.  Datos de rutas. | Java  Google Maps API  Programación lineal |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo D: Variable del objetivo específico 3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Crear una base de datos capaz de almacenar ubicaciones, itinerarios de los distribuidores, datos de cada vehículo, información de las rutas, y de diversos pedidos. | Base de datos logística | Sistema estructurado y eficiente para registrar y gestionar información clave como ubicaciones, itinerarios, datos de vehículos y pedidos. | - Consistencia e integridad de los datos almacenados. | Diseño de bases de datos.  Normalización. | Manuales de diseño de bases de datos. | PostgreSQL. |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo E: Variable del objetivo específico 4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Encontrar una ecuación de la Demanda y Oferta en función del tiempo que satisfaga las diferentes constantes y datos existentes. | Ecuación de demanda y oferta | Modelo matemático que describe la relación entre la demanda y oferta logística, considerando factores temporales y constantes empresariales. | - Precisión en las predicciones realizadas.  - Ajuste del modelo a los datos históricos.  - Capacidad predictiva del modelo. | Modelado matemático. | Publicaciones sobre modelos de oferta y demanda.  Estudios económicos relacionados. | Java  Apache Commons Math |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo F: Variable del objetivo específico 5

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Implementar el método de Runge-Kutta de cuarto orden para optimizar la predicción de la demanda de productos y la capacidad máxima de carga de los vehículos, ajustándolo a las condiciones específicas de cada escenario operacional de transporte. | Optimización de predicción | Método numérico avanzado que utiliza Runge-Kutta de cuarto orden para calcular la demanda de productos. | - Capacidad del modelo para adaptarse a diferentes escenarios operativos. | Implementación del método Runge-Kutta. | Documentación sobre Runge-Kutta.  Estudios numéricos relacionados. | Java  Apache Commons Math |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo G: Variable del objetivo específico 6

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Implementar el método de Vogel en el sistema para calcular el costo mínimo de transporte, optimizando la asignación de pedidos a los vehículos y minimizando los costos de los recorridos. | Costo mínimo de transporte | Método de optimización logística que utiliza el método de Vogel para asignar pedidos a vehículos y calcular el costo mínimo en las rutas de transporte. | - Reducción en los costos de transporte.  - Eficiencia en la asignación de pedidos.  - Comparación de costos antes y después de la implementación. | Implementación del método de Vogel.  Simulaciones matemáticas. | Documentación sobre el método de Vogel.  Estudios logísticos relacionados. | Java  Método de vogel |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo H: Variable del objetivo específico 7

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Crear un módulo dentro del sistema que permita sugerir rutas óptimas en tiempo real, considerando factores como distancia, tráfico y tiempo estimado de llegada. | Rutas óptimas en tiempo real | Funcionalidad integrada al sistema que utiliza algoritmos y datos en tiempo real para calcular rutas eficientes, optimizando distancia, tráfico y tiempos de llegada. | - Tiempo promedio de entrega optimizado.  - Precisión en la generación de rutas.  - Reducción en kilómetros recorridos.  - Nivel de satisfacción del usuario. | Implementación de algoritmos de rutas.  Integración de Google Maps API.  Pruebas en escenarios reales.  Simulaciones de tráfico. | Documentación técnica de Google Maps API.  Datos históricos de tráfico.  Estudios logísticos previos.  Publicaciones sobre optimización de rutas. | Google Maps API.  Java  JavaScript. |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo I: Variable del objetivo específico 8

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Diseñar una interfaz intuitiva y funcional con inicio de sesión personalizado para cada usuario, que incluye la generación de notificaciones específicas según las necesidades identificadas. | Interfaz de usuario personalizada | Plataforma interactiva y visual que permite a cada usuario iniciar sesión de forma única y recibir notificaciones específicas según las necesidades del sistema. | - Funcionalidad de las notificaciones generadas. | Diseño UX/UI.  Pruebas de usabilidad.  Prototipos de interfaz.  Implementación de notificaciones. | Guías de diseño UX/UI.  Requerimientos del usuario final. | Figma.  Visual Studio Code.  Frameworks web. |

Fuente: Elaboración propia 2024

Anexo J: Variable del objetivo específico 9

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
| Crear informes detallados de simulación que resuman la demanda proyectada y la capacidad de transporte requerida, proporcionando información clave para la toma de decisiones. | Informes de simulación | Documentos generados automáticamente que resumen y analizan la demanda proyectada y la capacidad logística. | - Precisión de las proyecciones.  - Claridad de la presentación de datos. | Análisis estadístico.  Visualización de datos. | Datos históricos de demanda y transporte.  Requerimientos de la empresa. | Java  Apache POI |

Fuente: Elaboración propia 2024