

COMANDO GENERAL DEL EJÉRCITO  
ESCUELA MILITAR DE INGENIERÍA  
"MICAL. ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"  
BOLIVIA

## PROYECTO FINAL

**EMI**



ESCUELA MILITAR DE INGENIERÍA

*"Mical. Antonio José de Sucre"*

Prestigio, Disciplina y Mejores Oportunidades

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 SHARAIID GABRIELA  
OCAMPO VALDIVIA JOAQUÍN RODRIGO  
SOSSA CHUGAR THIAGO LEONARDO

COCHABAMBA - BOLIVIA

## INDICE DE CONTENIDO

### CONTENIDO

|       |                                       |    |
|-------|---------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUCCIÓN                          | 1  |
| 2     | ANTECEDENTES                          | 2  |
| 3     | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA            | 3  |
| 3.1   | IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA           | 3  |
| 3.2   | ANÁLISIS CAUSA EFECTO                 | 3  |
| 3.3   | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA              | 3  |
| 4     | OBJETIVOS                             | 4  |
| 4.1   | OBJETIVOS GENERAL                     | 4  |
| 4.2   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS                 | 4  |
| 5     | JUSTIFICACIÓN                         | 5  |
| 6     | MARCO TEÓRICO                         | 6  |
| 6.1   | Sistema web de optimización logística | 6  |
| 6.2   | Modelo de grafos                      | 6  |
| 6.3   | Algoritmos de flujo máximo            | 7  |
| 6.3.1 | Cartero Chino                         | 7  |
| 6.4   | Base de datos logística               | 8  |
| 6.5   | Ecuación de demanda y oferta          | 8  |
| 6.6   | Optimización de predicción            | 9  |
| 6.6.1 | Método Runge-Kutta                    | 9  |
| 6.7   | Costo mínimo de transporte            | 11 |
| 7     | INGENIERÍA DEL PROYECTO               | 13 |
| 8     | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES        | 13 |

*alineación del contenido de la tesis*

*El informe es interinando servicios*

*faltan*

|        |                 |
|--------|-----------------|
| 8.1    | CONCLUSIONES    |
| 8.2    | RECOMENDACIONES |
| 9      | Bibliografía    |
| Anexos | 1               |

Preparar  
 por hojas  
 individuales 13  
 cada  
 índice 13

### Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Runge Kutta 4

10

### Índice de anexos

|  |   |
|--|---|
| Anexo A: Variable del objetivo general .....                               | 1 |
| Anexo B: Variable del objetivo específico 1 .....                          | 1 |
| Anexo C: Variable del objetivo específico 2 .....                          | 2 |
| Anexo D: Variable del objetivo específico 3 .....                          | 2 |
| Anexo E: Variable del objetivo específico 4 .....                          | 3 |
| Anexo F: Variable del objetivo específico 5 .....                          | 3 |
| Anexo G: Variable del objetivo específico 6 .....                          | 4 |
| Anexo I: Variable del objetivo específico 7 .....                          | 5 |
| Anexo J: Variable del objetivo específico 8 .....                          | 5 |
| Anexo K: Reunión N°1 (9/11/24) – Elaboración del diseño de la página ..... | 6 |

## 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 Embenor 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 el método de Runge-Kutta, el Problema del Cartero Chino y programación lineal para mejorar la distribución de productos.

El método de Runge-Kutta, utilizado combinado para resolver ecuaciones diferenciales será fundamental para modelar y predecir el comportamiento de factores dinámicos que afectan las rutas de distribución, tales como las fluctuaciones en el tráfico. Este algoritmo permitirá ajustar las rutas de manera dinámica, minimizando los posibles retrasos y optimizando los tiempos de entrega. Además, el Problema del Cartero Chino, un problema clásico de teoría de grafos, se implementará para encontrar rutas de entrega óptimas que aseguren que los vehículos recorran las distancias más cortas posibles, reduciendo costos de transporte y garantizando que todos los puntos de entrega sean cubiertos sin redundancia en los recorridos. Finalmente, la programación lineal se utilizará para optimizar los recursos disponibles, como vehículos y tiempo, bajo restricciones de capacidad y tiempos de entrega. Esta técnica permitirá a Embenor SA gestionar eficientemente sus rutas y recursos, garantizando que los productos sean entregados de manera puntual y sin generar costos adicionales. La implementación de esta solución busca no solo mejorar la eficiencia operativa de Embenor S.A., sino también adaptarse a las condiciones específicas de distribución de Coca - Cola, garantizando la satisfacción del cliente y optimizando los costos de transporte.

*que el cálculo que los costos de envío y las cantidades lleva a la mejor estrategia*

## 2. ANTECEDENTES

ENTGS.

Embonor SA, como distribuidor de productos Coca-Cola, tiene la responsabilidad de asegurar la entrega eficiente de sus productos a múltiples clientes en diversas ubicaciones. Para ello, cuenta con una infraestructura logística avanzada que incluye centros de distribución, flotas de vehículos y un sistema de gestión de operaciones. Sin embargo, la planificación de las rutas de distribución aún depende en gran medida de métodos tradicionales que no son lo suficientemente dinámicos para adaptarse a las condiciones cambiantes del tráfico, las ventanas horarias de entrega. Esta metodología genera ineficiencias en el proceso y eleva los costos operativos debido a retrasos ya una optimización subóptima de las rutas.

Para mejorar esta distribución, Embonor SA necesita un sistema más avanzado que integre herramientas de optimización matemática y simulación numérica, que le permita gestionar de manera más eficiente tanto las rutas como los costos asociados. Esto incluiría la integración de datos en tiempo real sobre tráfico, clima y demanda, con el fin de adaptar las rutas dinámicamente y reducir los tiempos de entrega. Además, la implementación de herramientas predictivas que coordinan la producción con la distribución podría ayudar a evitar el desabastecimiento o el desperdicio de productos, especialmente en el caso de productos perecederos.

Las principales deficiencias de Embonor SA en su proceso de distribución incluyen la dependencia de métodos manuales para la optimización de rutas y la falta de un sistema integral que permita una planificación más precisa y eficiente. La gestión manual de los cálculos incrementa el riesgo de errores y limita la capacidad de la empresa para responder rápidamente a los cambios operativos. Por otro lado, la falta de herramientas predictivas necesarias para la demanda contribuye a la incertidumbre, lo que dificulta una correcta planificación y puede resultar en desabastecimientos o sobrantes de inventario, afectando la satisfacción del cliente y

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

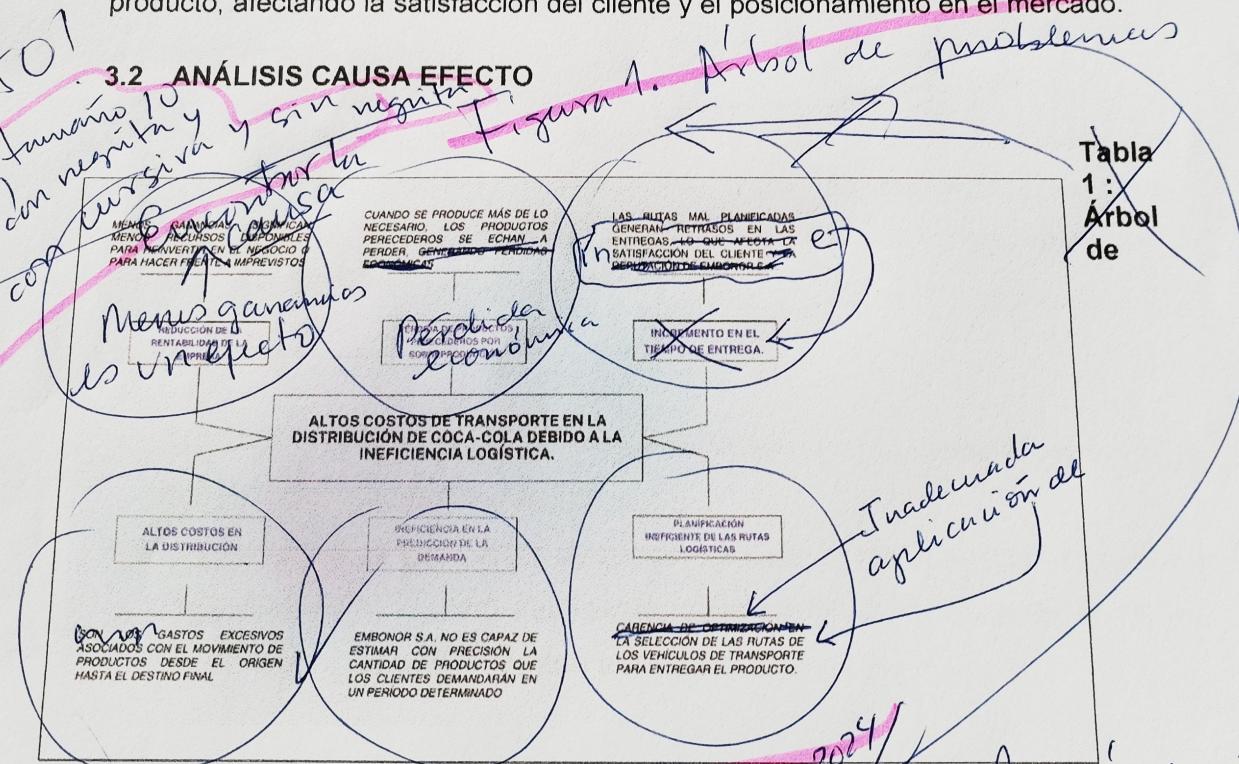
A continuación, se describe el planteamiento del problema y el análisis causal.

#### 3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa "Embonor S.A." enfrenta altos costos de transporte en su proceso de distribución del producto de Coca - Cola, 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 de 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.

#### 3.2 ANÁLISIS CAUSA EFECTO



Aquí escribir cada párrafo que une su causa y su efecto.

### 3.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

*(Flecha)*  
El desafío principal de la empresa radica en los elevados costos de transporte en la distribución de Coca - Cola, causado por 3 factores clave: los altos costos asociados al traslado de productos, la inexactitud en la predicción de la demanda lo que provoca que se produzca más de lo necesario y se termine desperdiando los productos y la falta de optimización en la planificación de rutas logísticas. Todo esto genera una serie de problemas como menor rentabilidad, pérdidas económicas porque los productos se deterioran, y tiempos de entrega más largos de lo que deberían. Además, esto termina afectando la satisfacción del cliente y daña la imagen de la empresa. La solución a estos problemas requiere una optimización urgente de los procesos logísticos y una reducción de los costos operativos.

*Por debajo tiene el FCTO  
que causa el costo de la distribución  
y el desperdicio*

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVOS GENERAL

*Definir las ideas principales en un solo párrafo sobre todo lo que se pretende resolver.*

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.

### 4.2 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, distribuidores, datos de cada vehículo, información de las rutas, y 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 de transporte, optimizando la asignación de pedidos a los vehículos y minimizando los costos de los recorridos. así como las cantidades que se deben ser distribuidas de una fuente a varios destinos.
- 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.

## 5. JUSTIFICACIÓN

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, mejorando la gestión de inventarios y reduciendo el riesgo de perder productos perecederos por deterioro. El sistema estará respaldado por módulos matemáticos avanzados, como el método de Vogel para la obtención del costo básico de la optimización de rutas de transporte, que permitirá seleccionar las rutas más eficientes minimizando costos, y el método de Runge-Kutta, que facilitará la simulación y predicción precisa de variables dinámicas como la demanda y los tiempos de entrega. Estos algoritmos garantizarán que el sistema pueda adaptarse a variaciones en las condiciones operativas, como el tráfico y los ajustes en horarios de entrega. Gracias a esta integración matemática, Embonor S.A. podrá optimizar

*Reducen en base a eso los beneficios de su sistema*

costos logísticos, mejorar la precisión en la planificación y puntuales, manteniéndose ágil y competitiva en un entorno mientras cumple con las expectativas de sus clientes en todo momento.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1. 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 Embenor 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.

### 6.2. 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.

### 6.3. 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.

#### 6.3.1. 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 Embenor 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.

#### 6.4. BASE DE DATOS LOGÍSTICA

#### 6.5. 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,

Este inventario y constantes de proporcionalidad que influyen en las decisiones. Este enfoque permitirá ajustar la oferta y la demanda en tiempo real, adaptándose a los cambios en el mercado y asegurando una planificación logística más precisa.

Además, estas ecuaciones mejorarán la capacidad predictiva de la empresa, 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.

### 6.6. 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.

#### 6.6.1. 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

**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.

### 6.7. 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 Embenor 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.

6.7. Modelos de transporte  
6.7.1 Algoritmos para el cálculo básico del costo.

6.7.2 Ejemplos de uso.

*Cómo es el?*

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 Tijerillo, & Torres Vargas, 2002, pág. 60)

*O sea van a usar la teoría de otro proyecto?*

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.

**7 INGENIERÍA DEL PROYECTO**

**8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**8.1 CONCLUSIONES**

**8.2 RECOMENDACIONES**

**9 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 LAS EMPRESAS EMBOL S.A. y CBN S.A. PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COMPETENCIA A LA QUE PERTENECEN, EN QUÉ NIVEL INFUYE ESTO EN LOS PRECIOS Y LA CANTIDAD DE EQUILIBRIO DE SUS PRODUCTOS. LAS Empresas Embol S A y CBN S A*. Cochabamba, Bolivia: Escuela Militar de Ingeniería.

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

Isla 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-cientifica/investcientifica.shtml>

✓ 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 Tecnológica 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). *Técnicas de programación lineal entera para la optimización de la recolección de residuos reciclables en el Municipio de Morón*. Buenos Aires.

les autores  
resaltados no se están  
referenciando en ningún  
parte del documento REVISAR →

## ANEXOS

*al revés*  
*soltar*  
*todos*

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, cálculo 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<br>- Precisión en la simulación y predicción de rutas óptimas. | - Modelado matemático y programación lineal.<br>- Implementación de algoritmos Heurísticos.<br>- Diseño y desarrollo del sistema web. | - Documentación interna de Embonor S.A.<br>- Estudios matemáticos sobre Runge-Kutta y programación lineal.<br>- Referencias académicas sobre optimización logística y algoritmos de grados.<br>- Datos logísticos históricos de la empresa. | - Frameworks de desarrollo web (Spring Boot).<br>- Lenguajes de programación (Java).<br>- Google Maps API para rutas en tiempo real.<br>- PostgreSQL para bases de datos. |

Fuente: Elaboración propia 2024

*según el contexto*

Anexo B: Variable del objetivo específico 1

| OBJETIVO | VARIABLE | DEFINICIÓN | INDICADORES | TÉCNICAS | FUENTES | HERRAMIENTAS |
|----------|----------|------------|-------------|----------|---------|--------------|
|----------|----------|------------|-------------|----------|---------|--------------|