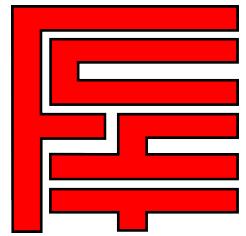


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS



**SISTEMA WEB PARA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE ENTREGA DE
PRODUCTOS EN ENTORNOS COMPLEJOS TSP BASADO EN AGENTES
INTELIGENTES**

Proyecto presentado para optar por diploma académico de Licenciatura en Ing de Sistemas.

PRESENTADO POR: Grover Choque Mitma

TUTOR: Lic. Carmen Rosa García Pérez

Cochabamba - Bolivia

7 de noviembre de 2025

*A mis padres,
por su amor, guía y apoyo incondicional.*

— Grover Ch. M.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a **Dios**, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarme en cada paso de este camino, darme la perseverancia para superar las dificultades y permitirme culminar con éxito esta etapa tan importante de mi vida.

A mi **familia**, por su amor incondicional, por ser mi mayor apoyo y motivación. Gracias por cada consejo, cada palabra de aliento y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Este logro es también de ustedes.

A mi amada prometida **Nathalia P.**, por su paciencia, comprensión y constante apoyo durante este proceso. Su compañía, ánimo y cariño fueron una gran fuente de inspiración para seguir adelante.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi tutora, **Carmen Rosa García Pérez**, por su orientación, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación. Su guía fue fundamental para alcanzar los objetivos propuestos.

Finalmente, agradezco profundamente a la **Universidad Mayor de San Simón**, mi apreciada casa de estudios, por brindarme los conocimientos, las herramientas y el acompañamiento necesarios para mi formación profesional y la culminación de este proyecto de grado.

RESUMEN

pendiente pues ...

ÍNDICE GENERAL

I. Introducción	1
1. Antecedentes	1
2. Definición del Problema	2
2.1. Árbol de Problemas	2
3. Objetivo	2
3.1. Objetivo General	3
3.2. Objetivos Específicos	3
4. Área de conocimiento	3
5. Alcance	3
6. Justificación	4
II. Marco Teórico	5
1. Área de conocimiento	5

ÍNDICE DE FIGURAS

I.1. Análisis de causas y efectos	2
---	---

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO I – INTRODUCCION

1 Antecedentes

A lo largo de la historia, el ser humano ha buscado constantemente optimizar sus actividades, especialmente aquellas que implican desplazarse entre diferentes ubicaciones. Como seres racionales, procuramos completar nuestras tareas en el menor tiempo posible, ya que el tiempo constituye un recurso limitado e irrecuperable.

Imagine que una persona desea visitar 44 lugares distribuidos en el mundo, representados como puntos sobre un mapa, y que su objetivo es recorrer la ruta más corta posible que conecte todos estos puntos, partiendo y regresando al punto inicial. Este tipo de problema es conocido como el *Traveling Salesman Problem* (TSP), o Problema del Viajero, el cual consiste en determinar, dado un conjunto de ubicaciones y las distancias entre ellas, la ruta de costo mínimo que visite cada una de dichas ubicaciones exactamente una vez antes de retornar al punto de partida (Russell & Norvig, 2021).

En el contexto boliviano, la distribución de bienes y servicios esenciales constituye una de las actividades más críticas tanto para la economía como para la vida cotidiana de la población. Diversos sectores —desde pequeñas panaderías familiares hasta grandes industrias lácteas y plataformas de entrega a domicilio— enfrentan el desafío constante de planificar rutas de distribución de manera eficiente. Estas actividades comparten una característica común: la necesidad de visitar múltiples destinos en el menor tiempo posible y utilizando los recursos de manera racional, lo que corresponde directamente al planteamiento del TSP.

Un ejemplo claro se observa en las panaderías locales, que deben distribuir pan fresco cada mañana a tiendas, mercados y colegios. Si las rutas se planifican de manera empírica, los costos en combustible, tiempo y mano de obra aumentan significativamente. De forma similar, empresas como PIL Andina y productores locales deben garantizar la entrega diaria de leche fresca a miles de puntos de venta, donde la puntualidad y la conservación del producto son esenciales. De igual modo, los servicios de delivery, impulsados por plataformas como PedidosYa o Yaigo, requieren una logística optimizada para asignar pedidos y maximizar la eficiencia de los repartidores.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2023), Bolivia cuenta con más de 2,3 millones de

vehículos registrados, de los cuales una parte importante se destina al transporte y distribución de productos. Asimismo, se estima la existencia de más de 8,000 panaderías y pastelerías registradas, junto a miles de microempresas dedicadas a la producción y comercialización de alimentos, muchas de ellas sin herramientas tecnológicas de optimización. Esta realidad se traduce en rutas ineficientes, altos costos operativos y una menor competitividad empresarial.

2 Definición del Problema

Las rutas de distribución mal optimizadas, generan un costo operativo mayor, fomentan el mal uso del tiempo, pero sobre todo tienen un impacto aun mayor en la contaminación ambiental.

2.1 Árbol de Problemas

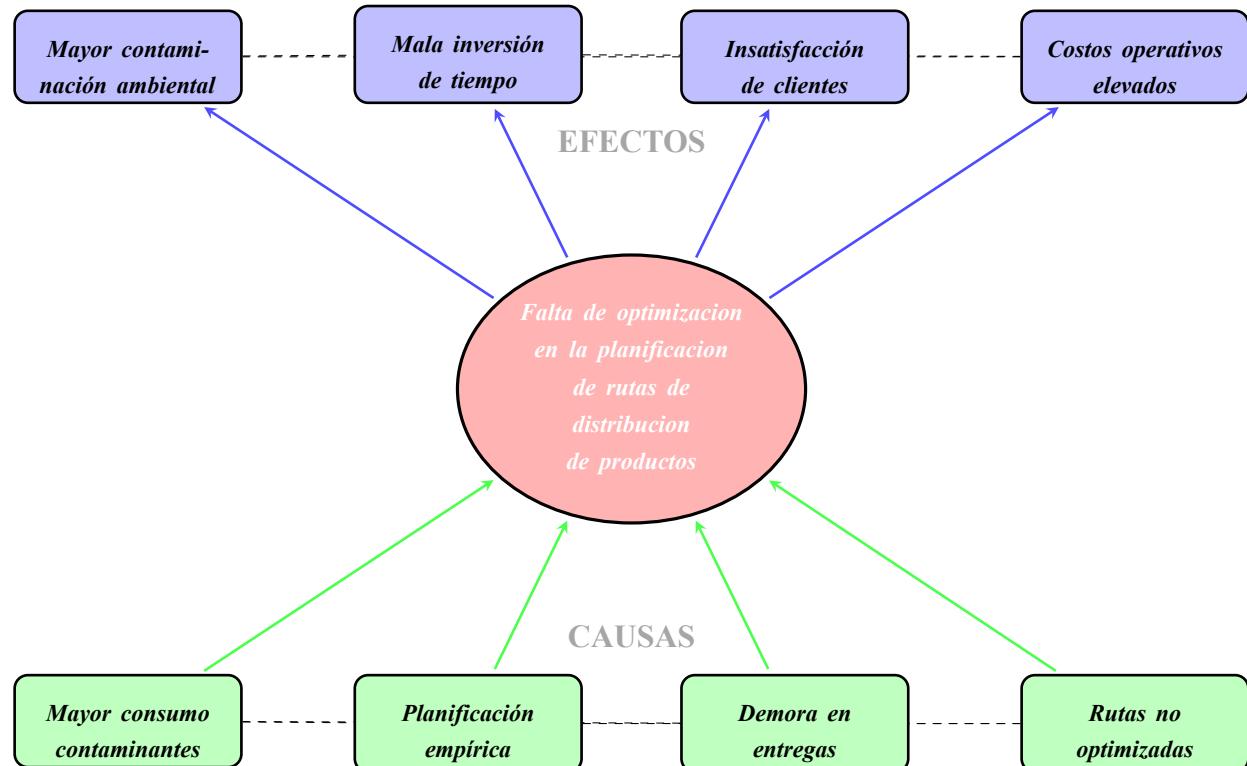


Figura I.1: Análisis de causas y efectos

3 Objetivo

3.1 Objetivo General

Implementar un sistema web para la optimización de rutas de distribución de productos, basado en agentes inteligentes.

3.2 Objetivos Específicos

1. Permitir la actualización de lugares o ubicaciones de distribución.
2. Calcular la ruta óptima de acuerdo a la selección de lugares.
3. Proporcionar mapas que permitan seleccionar los puntos o lugares a visitar.
4. Proporcionar un historial de rutas generadas.
5. Generar visualización de las rutas en un mapa digital para facilitar la interpretación por parte del personal de reparto.
6. Permitir descargar la ruta optimizada en formatos comunes como PDF o imagen.

4 Área de conocimiento

- Área: Inteligencia Artificial

5 Alcance

1. El sistema contemplará la optimización de rutas para un conjunto de puntos de entrega, considerando la minimización de distancia/tiempo total.
2. El sistema contemplará la visualización de la mejor ruta encontrada mediante una representación gráfica de los nodos(ubicaciones) y aristas(distancias/tiempo) en un mapa y en formato tabular (listado de nodos visitados y no visitados aun).
3. El sistema mostrará visualmente el proceso de obtención de la ruta más óptima.
4. El desarrollo no incluirá funciones de GPS en tiempo real ni seguimiento satelital.
5. El sistema no será de uso móvil, se enfocará en entorno web.
6. El proyecto no abordará problemas de tráfico en tiempo real, solo escenarios estáticos de distribución.

7. No generará planificación en tiempo real para múltiples repartidores (solo un agente global que optimiza un recorrido).

6 Justificación

La distribución de productos constituye una de las actividades logísticas más relevantes dentro de las cadenas de suministro modernas. En Bolivia, muchas empresas y microemprendimientos dependen de procesos de entrega eficientes para garantizar la calidad de sus servicios y mantener su competitividad. Sin embargo, gran parte de estas operaciones se desarrollan de manera empírica, sin el apoyo de herramientas tecnológicas que permitan optimizar el uso de recursos y minimizar los costos asociados al transporte.

En primer lugar, un **sistema web para la optimización de rutas de distribución en entornos complejos, basado en agentes inteligentes** ofrece una solución tecnológica adaptable a las condiciones del mercado local, permitiendo que empresas de diferentes tamaños puedan planificar sus rutas de manera eficiente y con acceso a través de cualquier dispositivo con conexión a internet. En segundo lugar, el uso de técnicas de inteligencia artificial —particularmente la simulación mediante agentes inteligentes— proporciona un enfoque flexible y dinámico para resolver el *Traveling Salesman Problem* (TSP).

Desde el punto de vista económico, la implementación de un sistema de este tipo permite reducir significativamente los costos operativos relacionados con el consumo de combustible, mantenimiento vehicular y horas laborales. Socialmente, contribuye al desarrollo sostenible, ya que una mejor planificación de rutas implica una reducción de emisiones de dióxido de carbono y un aprovechamiento más racional de los recursos energéticos.

Finalmente, la propuesta se alinea con las necesidades actuales de modernización tecnológica en Bolivia, fomentando la incorporación de herramientas inteligentes en sectores productivos y logísticos. De este modo, el proyecto no solo aporta una solución práctica a un problema recurrente, sino que también promueve la innovación y la competitividad en el entorno empresarial nacional.

CAPÍTULO II – MARCO TEORICO

1 Area de conocimiento

BIBLIOGRAFÍA

Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4.^a ed.). Pearson.