

Reducción de Costos y Tiempos de Entrega en una Empresa de Logística en Colombia mediante Algoritmos Bioinspirados

Miguel Angel Gonzalez, Paul Henao & Daniel Esteban Molina Sanchez
Universidad Sergio Arboleda
{paul.henao01, miguel.gonzalez01, daniel.molina01}@usa.edu.co

Febrero 2025

1 Contexto y Relevancia

La empresa X, especializada en el transporte y distribución de mercancía dentro del territorio nacional, enfrenta un problema: la optimización de las entregas y los costos a diversas ciudades es demasiado elevada. Además, la red de clientes se ha quejado de demoras en las entregas.

Dicha red se encuentra en **20 ciudades de Colombia**, por lo que una planificación eficiente es fundamental para que el negocio vuelva a ser rentable y la clientela recupere su satisfacción con el servicio.

Actualmente, la compañía depende de métodos tradicionales de planificación, basados únicamente en la experiencia de los conductores y rutas predefinidas antiguas, las cuales ya dejaron de ser rentables.

La solución propuesta es la aplicación de algoritmos bioinspirados, específicamente, **Optimización por Colonia de Hormigas (ACO)** y el **Algoritmo de Murciélagos (BATs)**, con el objetivo de encontrar las rutas más eficientes en términos de distancia y tiempos de entrega.

2 Justificación y Soporte Teórico

2.1 ¿Por qué este problema es relevante?

Impacto económico: El sector logístico de Colombia enfrenta múltiples desafíos únicos para el país, como la geografía montañosa, el estado de las carreteras, la congestión en las principales ciudades y la delincuencia en las vías. Reducir el tiempo y la distancia de recorrido puede generar ahorros significativos para la empresa en combustible y mantenimiento, además de mejorar su imagen.

Mejora del servicio: Rutas más eficientes significan mejores entregas, lo que mejora la experiencia del cliente y la competitividad con otras empresas.

Reducción de emisiones: Una planificación eficiente significa que los camiones estarán menos tiempo en las vías, lo que reduce su impacto ambiental.

Mejoras laborales: Con una mejor planificación, los trabajadores perderán menos tiempo conduciendo y no tendrán que hacer horas extras para completar los envíos.

2.2 ¿Qué dificultades presentan los métodos tradicionales?

Uso de heurísticas manuales: Las empresas suelen depender de la experiencia de los conductores y guías de viaje antiguas para decidir sus rutas, lo cual no es óptimo.

Modelos matemáticos exactos poco escalables: Métodos como la programación lineal pueden encontrar soluciones óptimas, pero al aumentar el número de nodos y restricciones, el tiempo de cómputo se vuelve excesivo.

Falta de adaptabilidad: Los sistemas actuales no tienen en cuenta factores como el tráfico u otras condiciones externas.

2.3 Referencias a Trabajos Previos

References

- [1] Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. MIT Press.
- [2] Yang, X.-S. (2010). *Nature-Inspired Meta-heuristic Algorithms*. Luniver Press.
- [3] Laporte, G. (1992). "The Traveling Salesman Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms". *European Journal of Operational Research*.

3 Explicación de los Algoritmos Bioinspirados Elegidos

3.1 Optimización por Colonia de Hormigas (ACO)

ACO basa su comportamiento de las hormigas, mas precisamente en sus patrones y acciones a la hora de encontrar alimento y llevarlo hasta su colonia, cada hormiga deja un

rastro de feromonas en su camino, este rastro lo siguen las demás hormigas para llevar su alimento, la cantidad de hormigas varia según la distancia recorrida, a caminos mas cortos es mas probable que mas hormigas lo sigan, mientras que los caminos mas largos quedan abandonados, esto provoca que los caminos largos desaparezcan con el tiempo pues su rastro de feromonas desaparece, mientras que las rutas cortas son reforzadas y transitadas continuamente.

Características Clave:

- Encuentra soluciones optimas en problemas de enrutamiento
- Se adapta a cambios en el entorno
- Tiene buena documentación pues se usa para problemas de transporte

3.2 Algoritmo de Murciélagos (BATs)

BATs se inspira en los murciélagos y como estos usan su ecolocalizacion para orientarse en la noche, esta técnica emite ondas sonoras las cuales chocan contra obstáculos y presas, logrando ubicar donde se encuentran con una excelente precisión. Para TSP esta técnica se traduce en una búsqueda inteligente de rutas donde el algoritmo "explora" usando este principio las diversas rutas y escoge la mas optima.

Características clave:

- Es eficiente para explorar múltiples soluciones
- Mas flexible que ACO cuando el espacio de búsqueda se vuelve mas complejo

3.3 Comparación con métodos tradicionales

Métodos Exactos:

Estos métodos aunque encuentran la mejor solución, su tiempo de computo se incrementa exponencialmente, lo que provoca que para ejercicios grandes queden obsoletos.

Heurísticas clásicas:

Estas heurísticas como greedy o búsqueda local, son muy rápidas, sin embargo no encuentran la mejor solución ya que su búsqueda no es muy profunda

4 Definición de los datos a utilizar

Variable	Descripción	Formato
Lista de ciudades	Conjunto de 20 ciudades (A revision) en Colombia que forman parte de la red logística.	Lista de strings
Coordenadas GPS	Latitud y longitud de cada ciudad para referencia geográfica.	Par de valores numéricos (float)
Distancia entre ciudades	Distancia en kilómetros entre cada par de ciudades.	Matriz de NxN valores numéricos
Tiempo de viaje estimado	Tiempo en horas entre cada par de ciudades basado en velocidad promedio.	Matriz de NxN valores numéricos
Costo de transporte (Opcional)	Costo estimado basado en combustible y peajes.	Matriz de NxN valores numéricos
Restricciones viales (Opcional)	Carreteras bloqueadas o con restricciones de tránsito.	Lista de restricciones

Table 1: Descripción de Variables Utilizadas

Lo siguiente es como se planea conseguir los datos previamente mostrandos

Tipo de Dato	Fuente
Ciudades de Colombia	Definido manualmente
Coordenadas GPS (Lat, Lon)	OpenStreetMap / Google Maps
Matriz de Distancias entre Ciudades	API de Google Maps / OpenStreetMap
Tiempos de Viaje Aproximados	API de Google Maps (si es posible) o estimación basada en velocidad promedio
Costos de Transporte (Opcional)	Datos de empresas locales o estimaciones
Restricciones de Infraestructura (Opcional)	Datos del INVIAS (Instituto Nacional de Vías)

Table 2: Obtención de los datos

A continuación se muestra una tabla ejemplificando como se vería la matriz de datos, ya que esta sería la base para empezar a trabajar:

Ciudad	Bogotá	Medellín	Cali	Barranquilla	Cartagena
Bogotá	0 km	414 km	462 km	1002 km	1063 km
Medellín	414 km	0 km	418 km	725 km	662 km
Cali	462 km	418 km	0 km	1085 km	1145 km
Barranquilla	1002 km	725 km	1085 km	0 km	116 km
Cartagena	1063 km	662 km	1145 km	116 km	0 km

Table 3: Matriz de Distancias entre Ciudades [Ejemplo]

Posibles problemas con los datos

1. Condiciones viales cambiantes:

- Las vías pueden verse afectadas por tráfico o mantenimiento
- Solución: Considerar datos históricos o actualizar las rutas en tiempo real

2. Error en APIs de Mapas:

- Las APIs pueden representar erróneamente las distancias entre ciudades
- Solución: Validar los datos de diferentes fuentes

3. Falta de Datos de tráfico en tiempo real

- No tener acceso a la API de tráfico de Maps o Waze
- Solución: Estimar las velocidades de los autos en intervalos de horas

4. Datos de Costos no estandarizados:

- Factores como las variaciones en el precio de combustible o en los peajes pueden afectar a la optimización
- Solución: Utilizar valores promedio y permitir ajustes dinámicos.