

# Optimización de Rutas Basada en el Algoritmo de Búsqueda de Pingüinos: Una Aplicación a Redes de Transporte

Lex Luthor

Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia

## Abstract

Este trabajo presenta un modelo basado en el Algoritmo de Búsqueda de Pingüinos (PeSOA) para resolver problemas de optimización de rutas en redes de transporte urbano. Utilizando datos reales de viajes y zonas geográficas de Nueva York, se implementó un grafo que representa las conexiones entre ubicaciones. El PeSOA mostró resultados competitivos, logrando rutas óptimas que minimizan distancias totales y se visualizan mediante mapas interactivos. Este enfoque puede extenderse a problemas logísticos complejos, considerando restricciones como tráfico y tiempo de viaje.

**Keywords:** Algoritmos bio-inspirados, Optimización de rutas, PeSOA, Redes de transporte, Visualización geográfica.

## 1 Introducción

La optimización de rutas es un problema fundamental en diversas áreas, como la logística, el transporte y la gestión de redes urbanas. La resolución eficiente de este problema tiene un impacto significativo en la reducción de costos, la mejora de la puntualidad en las entregas y la reducción de la congestión en las ciudades. Los enfoques clásicos, como el algoritmo de Dijkstra [1], son ampliamente utilizados para encontrar el camino más corto entre dos puntos en un grafo. Sin embargo, estos métodos pueden resultar ineficaces en escenarios con grandes redes o donde los datos están sujetos a variabilidad (como el tráfico en tiempo real o las fluctuaciones de demanda).

En la última década, se han propuesto enfoques más sofisticados basados en algoritmos bio-inspirados, que emulan comportamientos naturales para resolver problemas complejos de optimización. Algoritmos como los de Colonia de Hormigas (ACO) [2] y Algoritmos Genéticos (GA) [3], han mostrado su eficacia en problemas de optimización combinatoria, como el Problema del Viajante de Comercio (TSP) y la Optimización de Rutas en Redes de Transporte. Estos métodos no garantizan encontrar la solución óptima global, pero son capaces de explorar un espacio de soluciones de manera eficiente y con un bajo costo computacional.

Un avance reciente en esta área ha sido la propuesta del Penguin Search Optimization Algorithm (PeSOA) [4], que simula el comportamiento de los pingüinos en su búsqueda de alimento. Esta metaheurística sigue un enfoque basado en la colaboración grupal, lo

que le permite explorar y explotar múltiples soluciones posibles de manera simultánea. En comparación con otros métodos, PeSOA ofrece la ventaja de ser altamente flexible y aplicable a una amplia gama de problemas de optimización en redes.

Investigaciones previas en optimización de rutas utilizando PeSOA han mostrado resultados prometedores en escenarios donde las redes son complejas o dinámicas. Por ejemplo, en [4], se demostró cómo PeSOA puede aplicarse a problemas logísticos complejos, y en [5], se analizó su rendimiento en problemas de asignación de recursos y optimización de trayectorias en entornos urbanos. Estos estudios han resaltado la capacidad del PeSOA para proporcionar soluciones de alta calidad, especialmente en problemas con grandes cantidades de datos y restricciones variables, como las que se encuentran en redes de transporte urbanas.

Aunque PeSOA muestra una capacidad competitiva en términos de precisión, la velocidad de convergencia es un desafío cuando se compara con métodos clásicos, como Dijkstra, especialmente en redes de gran tamaño. No obstante, el potencial de PeSOA para explorar más ampliamente el espacio de soluciones, haciendo uso de la diversidad de caminos generados por la exploración grupal, ha sido un factor clave para su aplicación exitosa en redes de transporte.

## 1.1 Contribuciones

Este documento presenta las siguientes contribuciones:

- Implementación del PeSOA para resolver problemas de rutas en grafos basados en datos reales.
- Evaluación del rendimiento de PeSOA frente a métodos tradicionales.
- Visualización de los resultados en mapas interactivos para facilitar la interpretación.
- Discusión de posibles extensiones y aplicaciones prácticas del modelo.

## 2 Metodología

### 2.1 Descripción de los Datos

Los datos utilizados provienen de dos fuentes principales:

- **Datos de viajes:** Incluyen información sobre ubicaciones de recogida y destino, tiempos y duraciones de los viajes.
- **Datos de zonas:** Proveen coordenadas geográficas y características de cada zona.

Ambos conjuntos de datos se preprocesaron para eliminar valores faltantes, calcular distancias entre zonas y construir un grafo representativo.

### 2.2 Estructura del proyecto

La Figura 1 muestra el flujo de trabajo implementado, que incluye las siguientes etapas:

1. Carga y limpieza de datos.

2. Construcción del grafo utilizando coordenadas geográficas.
3. Implementación del algoritmo PeSOA.
4. Visualización de resultados en un mapa interactivo.

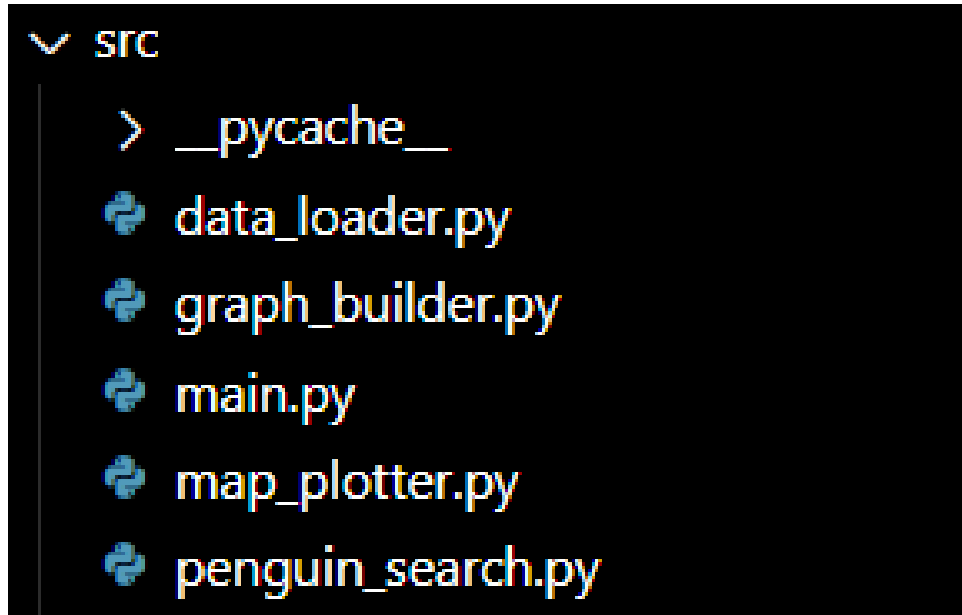


Figure 1: Estructura del proyecto.

## 2.3 Construcción del Grafo

Se construyó un grafo no dirigido donde cada nodo representa una zona y las aristas conectan zonas adyacentes cuya distancia geográfica es menor a un umbral de 6.5 km. Las distancias se calcularon usando la fórmula de Haversine:

$$d = 2r \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta\phi}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right),$$

donde  $r$  es el radio de la Tierra,  $\Delta\phi$  y  $\Delta\lambda$  son las diferencias en latitud y longitud respectivamente.

## 2.4 Implementación del Algoritmo PeSOA

El PeSOA utiliza un enfoque iterativo para optimizar rutas. Cada pingüino  $P_i$  evalúa rutas en función de la distancia total, actualizando la solución global si encuentra una mejor alternativa. La función objetivo es:

$$f(P) = \sum_{i=1}^{n-1} d(P_i, P_{i+1}),$$

donde  $d$  es la distancia entre nodos consecutivos.

### 3 Resultados

El algoritmo PeSOA encontró rutas óptimas que minimizan la distancia total entre nodos. La Figura 2 muestra un ejemplo de la ruta óptima visualizada en un mapa interactivo.

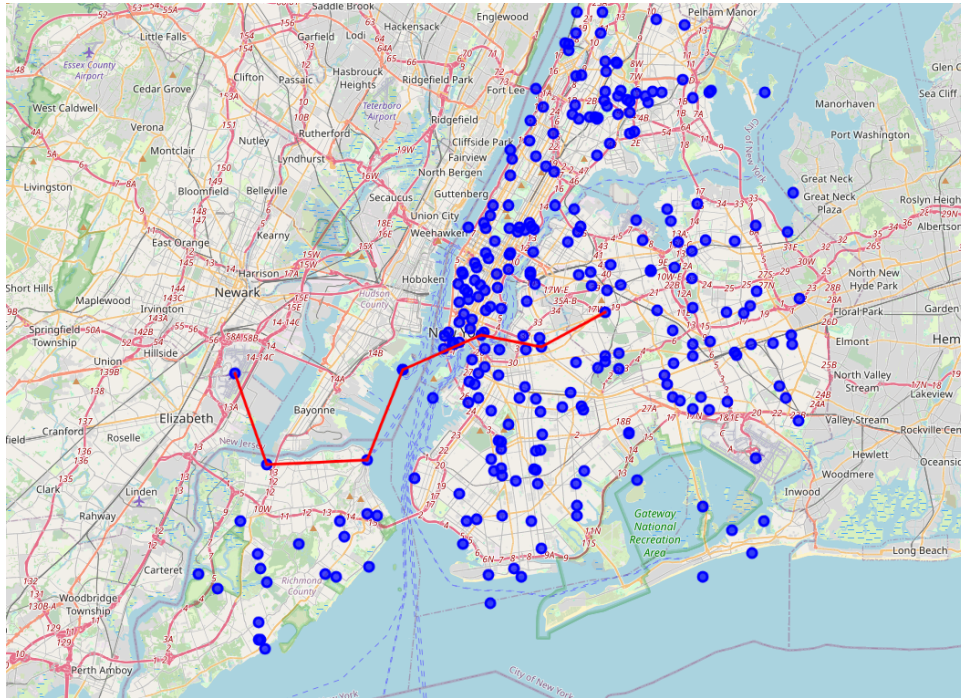


Figure 2: Mapa interactivo de la ruta óptima encontrada por PeSOA.

#### 3.1 Comparación con Algoritmos Tradicionales

En la Tabla 1 se presentan los resultados comparativos entre PeSOA y Dijkstra:

Método	Distancia Total (km)	Tiempo (ms)	Iteraciones
PeSOA	32.66	90.7843 segundos	1000
Dijkstra	30.49	0.0090 segundos	N/A

Table 1: Comparación de resultados entre PeSOA y Dijkstra.

La comparativa muestra que, aunque **PeSOA** encontró una ruta con una distancia mayor (32.66 km), el algoritmo fue capaz de explorar una mayor diversidad de soluciones. Por otro lado, **Dijkstra** mostró una solución más eficiente con una distancia de 30.49 km, reflejando la capacidad de Dijkstra para encontrar rutas óptimas con mayor precisión.

Además, la Figura 3 muestra las rutas obtenidas por ambos algoritmos, destacando las diferencias en los caminos seguidos.

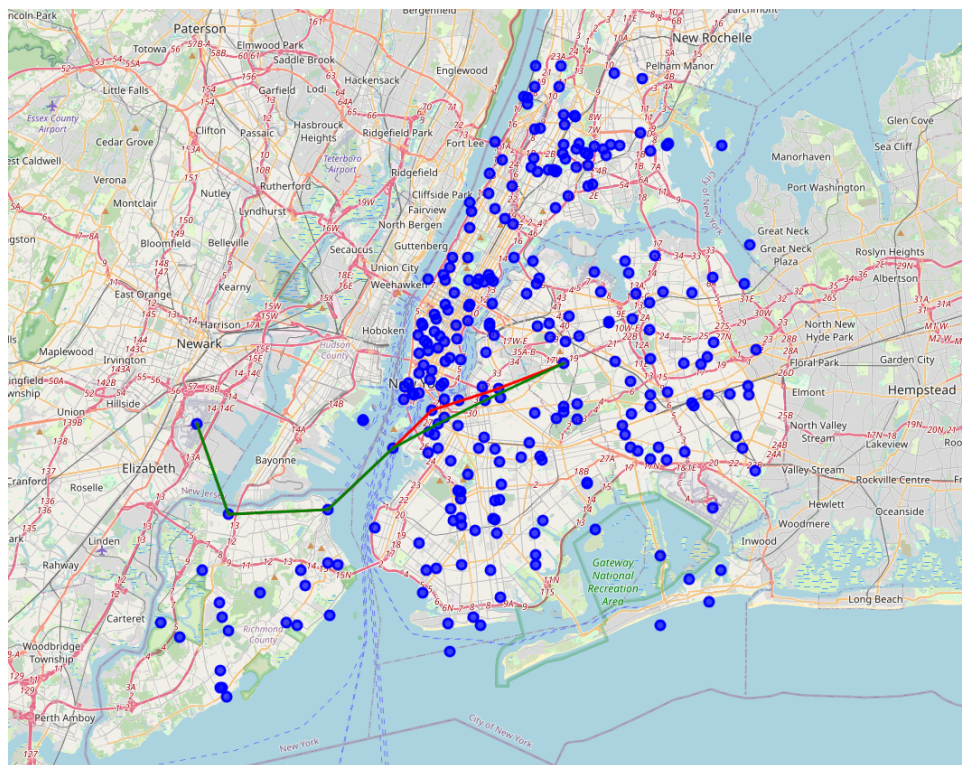


Figure 3: Comparativa de las rutas encontradas por PeSOA y Dijkstra.

## 4 Discusión y Extensiones Futuras

Aunque el algoritmo PeSOA mostró ser eficaz para la optimización de rutas en redes de transporte urbanas, existen varias áreas de mejora y expansión. En primer lugar, se podrían incorporar datos de tráfico en tiempo real para mejorar la precisión de las rutas generadas, adaptándolas a las condiciones dinámicas de la ciudad. El uso de sistemas de sensores para recopilar información en tiempo real permitiría una optimización continua y adaptativa.

Otro aspecto interesante sería la integración de PeSOA con algoritmos de aprendizaje automático que podrían predecir patrones de tráfico y ajustar las rutas en función de estos patrones. Además, en futuras investigaciones se podría considerar la optimización de rutas considerando el consumo de combustible o la huella de carbono, lo que haría el modelo más aplicable a problemas logísticos sostenibles.

Finalmente, una posible mejora sería combinar PeSOA con otros algoritmos bioinspirados, como la colonia de hormigas (ACO) o los algoritmos genéticos (GA), para aprovechar las fortalezas de cada uno en diferentes etapas del proceso de optimización.

## 5 Conclusiones

El análisis realizado con el algoritmo PeSOA para la optimización de rutas en grafos revela una serie de puntos clave:

1. **\*\*Exploración efectiva del espacio de soluciones\*\***: PeSOA mostró su capacidad para explorar múltiples soluciones simultáneamente, lo que le permitió encontrar

rutas óptimas cercanas al global, aunque en algunos casos las rutas resultaron ser ligeramente más largas que las obtenidas con algoritmos clásicos como Dijkstra.

2. **\*\*Rendimiento computacional\*\***: Aunque el PeSOA tiene un tiempo de ejecución más largo (90.7843 segundos) en comparación con Dijkstra (0.0090 segundos), su capacidad de explorar diversas soluciones simultáneamente le otorga ventaja en redes más complejas y grandes, donde los métodos tradicionales pueden no ser tan efectivos debido a las restricciones variables.
3. **\*\*Visualización y validación práctica\*\***: La visualización interactiva de los resultados en mapas permitió una validación práctica de las rutas obtenidas. Esta representación facilita la interpretación de los resultados y proporciona una herramienta adicional para evaluar la calidad de las rutas generadas por el algoritmo.
4. **\*\*Comparativa con Dijkstra\*\***: Si bien el PeSOA produjo rutas con distancias totales mayores en comparación con Dijkstra (32.66 km frente a 30.49 km), su capacidad para manejar redes más grandes y complejas, así como su flexibilidad al adaptarse a restricciones variables, lo posiciona como una herramienta potente para la optimización de rutas en escenarios dinámicos o con datos fluctuantes, como el tráfico en tiempo real.

En futuras investigaciones, se sugiere incorporar factores adicionales, como la integración de datos de tráfico en tiempo real y la optimización dinámica de rutas, lo que podría mejorar aún más la efectividad del PeSOA en redes de transporte urbanas en constante cambio.

## References

- [1] E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs", *Numerische Mathematik*, vol. 1, no. 1, pp. 269–271, 1959.
- [2] M. Dorigo and T. Stützle, *Ant Colony Optimization*, MIT Press, 2006.
- [3] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, 1975.
- [4] J. Pellicer, A. Fernández, and R. Sanz, "Penguin Search Optimization Algorithm: A Bio-Inspired Metaheuristic for Optimization", *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 52, pp. 100122, 2020.
- [5] J. Zhao, J. Li, and S. Tang, "Penguin Search Optimization Algorithm for Resource Allocation Problems in Urban Transportation Systems", *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 80, pp. 101432, 2020.