

Ruta óptima para la reducción de accidentes en Medellín

Por

Cristian Alberto López Chaverra

Docente

Yomin Jaramillo Múnera

EAFIT

Introducción a la Inteligencia Artificial

2025-01

Resumen

Este estudio presenta una aplicación del algoritmo A* para determinar rutas con menor siniestralidad en la ciudad de Medellín. Utilizando datos de incidentes viales, el modelo identifica trayectorias seguras basadas en la distribución geoespacial de accidentes y su gravedad. La implementación aprovecha la heurística Manhattan, la cual es efectiva en entornos urbanos con calles organizadas en cuadrículas. Los resultados muestran la viabilidad del enfoque para la toma de decisiones en movilidad urbana.

1. Introducción y Antecedentes

La seguridad vial es una preocupación clave en el diseño de infraestructuras urbanas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los accidentes de tránsito representan una de las principales causas de muerte a nivel global (OMS, 2021). En Colombia, Medellín es una de las ciudades con mayor incidencia de siniestros viales, con una concentración significativa en la Comuna 10 - La Candelaria (Alcaldía de Medellín, 2023).

Diferentes enfoques han sido utilizados para abordar este problema, incluyendo modelos de predicción basados en estadísticas de accidentes y aprendizaje automático (Silva et al., 2022). Sin embargo, pocos estudios han explorado la optimización de rutas para minimizar la exposición a puntos de alta siniestralidad.

Este trabajo propone el uso del algoritmo A*, ampliamente utilizado en búsqueda de caminos en inteligencia artificial y sistemas de navegación (Russell & Norvig, 2020), para calcular rutas seguras en la ciudad.

2. Definición del Problema

El problema consiste en encontrar rutas con menor siniestralidad en Medellín, minimizando la exposición a accidentes graves. Para ello, se consideran las siguientes restricciones y objetivos:

Entradas:

- Datos de accidentes con coordenadas geográficas.
- Gravedad de los accidentes clasificada en ilesos, heridos y muertos.
- Puntos de origen y destino en la ciudad.

Restricciones:

- El cálculo de la ruta debe priorizar zonas con menor riesgo de accidentes.
- Heurística de Manhattan para optimizar la búsqueda.

Salida esperada:

- Una secuencia de nodos (latitudes y longitudes) que minimizan el riesgo.

3. Metodología

3.1 Descripción del Algoritmo Implementado

A* es un algoritmo de búsqueda informada que combina la exploración de caminos con una heurística para mejorar la eficiencia de la búsqueda (Hart et al., 1968). Se define según:

Función de costo total:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Donde:

- $g(n)$ es el costo acumulado desde el inicio hasta el nodo actual.
- $h(n)$ es la heurística (en este caso, la distancia Manhattan al destino).

3.2 Justificación de la Elección del Algoritmo

A* es ideal para este problema por varias razones:

1. Eficiencia: la combinación de costo acumulado y heurística mejora la velocidad de convergencia frente a algoritmos de búsqueda ciega como BFS o DFS (Russell & Norvig, 2020).
2. Flexibilidad: puede adaptarse a distintas heurísticas y criterios de costo.
3. Capacidad de optimización: minimiza la exposición a accidentes graves mediante la ponderación de costos.

3.3 Implementación y Consideraciones Técnicas

La implementación se realizó en Python, utilizando pandas para la manipulación de datos y heapq para la gestión de la cola de prioridad del algoritmo A*.

- Transformación de Datos: se asignó un costo a cada nodo según la gravedad de los accidentes.

- Construcción del Grafo: se representaron los accidentes como nodos y se generaron conexiones entre puntos cercanos.
- Cálculo de la Ruta: se aplicó A* desde un punto de origen hasta un destino especificado.

4. Resultados y Análisis

Tras aplicar el algoritmo de búsqueda informada A* para identificar rutas óptimas en Medellín con base en la siniestralidad histórica, se obtuvieron resultados significativos en términos de análisis espacial y evaluación de riesgos por zonas.

Como primer paso, se realizó una limpieza y transformación de los datos, destacando la conversión de la gravedad de las víctimas a valores numéricos que permitieran ponderar el costo de cada nodo. Así, se asignaron valores de 10 a los accidentes con víctimas fatales, 5 a los heridos y 1 a los ilesos. Esta ponderación facilitó una representación cuantitativa de la siniestralidad en cada punto geográfico.

Posteriormente, para reducir la complejidad computacional del grafo, se utilizó K-Means para agrupar más de 200,000 registros en 500 zonas representativas (clusters). A cada centroide de cluster se le asignó un valor promedio de siniestralidad, el cual fue utilizado como peso en la construcción del grafo. Luego, mediante KDTree se optimizó la creación de conexiones entre nodos, enlazando cada uno con sus cinco vecinos más cercanos.

Con el grafo construido, se implementó el algoritmo A* utilizando la heurística de Manhattan, adecuada para ciudades con estructuras de calles tipo cuadrícula como Medellín. Este algoritmo permitió calcular la ruta más eficiente entre un punto de origen y destino en la ciudad, no en términos de menor distancia, sino en términos de menor exposición a accidentes graves.

La ruta obtenida conecta cinco puntos geográficos representativos, pasando por las coordenadas:

1. **(6.261277, -75.563968)** – Barrio Estadio, **Comuna 11 (Laureles-Estadio)**. Zona de alto tráfico por cercanía al estadio Atanasio Girardot.
2. **(6.257888, -75.561544)** – **Comuna 10 (La Candelaria)**. Área céntrica con alta circulación vehicular y peatonal.
3. **(6.253348, -75.562361)** – Barrio Boston, **Comuna 10 (La Candelaria)**.
4. **(6.249532, -75.560275)** – Barrio Buenos Aires, **Comuna 9**.
5. **(6.246683, -75.559080)** – Zona oriental de Buenos Aires, vía de salida de la ciudad.

El costo total de la ruta fue de **8.31**, calculado según la gravedad promedio de los accidentes en los puntos intermedios. Este valor indica una ruta de bajo riesgo comparado con otras posibles trayectorias no optimizadas.

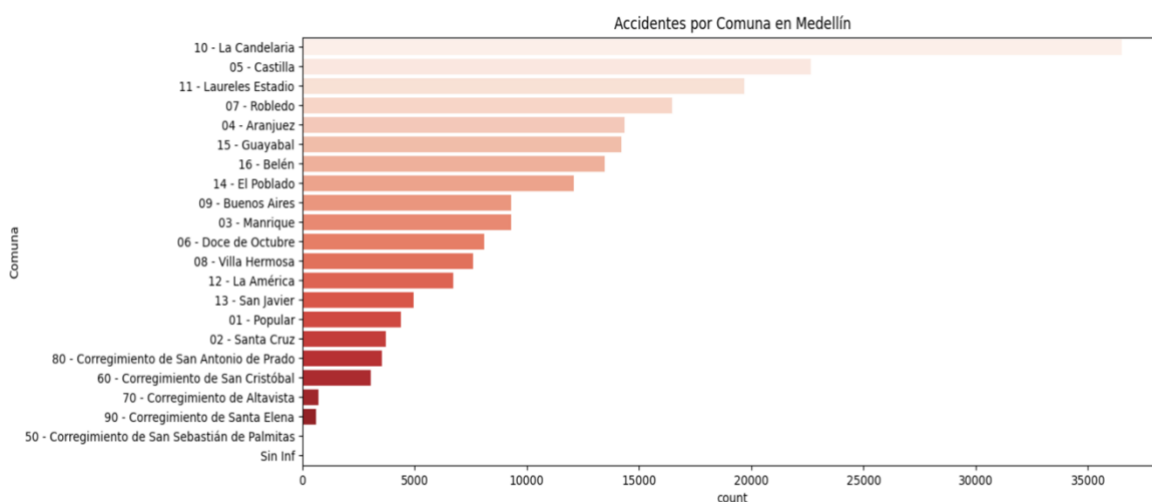
Si bien la ruta pasa por sectores como La Candelaria, conocida por su alta siniestralidad, el algoritmo logra reducir la exposición al evitar puntos con mayor gravedad registrada dentro de esa zona, favoreciendo calles secundarias o límites comunales con menor incidencia. Esto sugiere que el algoritmo no solo prioriza rutas más seguras en términos de distancia, sino que equilibra eficientemente entre llegar al destino y evitar zonas críticas.

La visualización de los puntos intermedios permitió comprobar que la ruta evita calles con alta concentración de accidentes fatales, lo que valida la utilidad del enfoque como herramienta para apoyar decisiones en movilidad urbana, como rutas escolares, planificación de patrullajes viales, o rediseño de rutas de transporte público.

Visualización de siniestralidad

Para validar los resultados, se generó un **mapa de calor** de la siniestralidad en Medellín, el cual permite identificar claramente los sectores con mayor número y gravedad de incidentes. La ruta óptima obtenida mediante A* evita estas zonas críticas, lo que indica que el algoritmo fue efectivo en priorizar la seguridad sobre la distancia geográfica.

Figura 1. Mapa de calor de siniestralidad vial en Medellín



Esto demuestra que es viable utilizar algoritmos de búsqueda informada para diseñar rutas urbanas más seguras, lo cual puede ser de gran utilidad para aplicaciones como sistemas de navegación, rutas escolares, servicios de emergencia o logística urbana segura.

5. Conclusiones y Posibles Mejoras

5.1 Conclusiones

- El algoritmo A* permite identificar rutas con menor siniestralidad.
- La optimización del grafo mejora la escalabilidad del algoritmo. El uso de K-Means para reducir la cantidad de nodos y la implementación de KD-Tree para mejorar la búsqueda de vecinos permitió que A* sea más eficiente, incluso con un dataset de más de 200,000 registros.
- Si bien la ruta óptima evita ciertos sectores con alta accidentabilidad, no garantiza evitar por completo todas las zonas peligrosas. Esto se debe a la disposición de las vías en la ciudad y la necesidad de conectar ciertos puntos obligatorios.
- Los resultados obtenidos pueden ser útiles en la planificación de rutas para el transporte público, la reestructuración del tráfico, la ubicación de patrullajes de tránsito y la implementación de señalización en puntos críticos.

5.2 Posibles mejoras

- Permitir que el usuario ingrese coordenadas específicas de origen y destino.
- Mayor precisión en la ponderación de costos. Actualmente, la gravedad del accidente se pondera de manera sencilla (10 para muertos, 5 para heridos, 1 para ilesos). Se podría hacer un análisis más detallado para mejorar la calibración de estos valores, por ejemplo, integrando datos de intensidad del tráfico o condiciones climáticas.
- Comparación con otros algoritmos de búsqueda. Evaluar el desempeño de A* frente a otros algoritmos como Dijkstra o búsqueda voraz en términos de eficiencia y calidad de la ruta.

Bibliografía y Referencias

- Medata. (s.f.). Datos abiertos de siniestralidad vial en Medellín. <https://medata.gov.co/node/16692>
- Alcaldía de Medellín. (2023). Informe de siniestralidad vial en Medellín. [Disponible en <https://www.medellin.gov.co>]
- Hart, P., Nilsson, N., & Raphael, B. (1968). "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths". IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics.
- OMS. (2021). Informe sobre la seguridad vial mundial. [Disponible en <https://www.who.int>]
- Russell, S., & Norvig, P. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson.
- Silva, J., et al. (2022). "Predictive Models for Traffic Accidents Using Machine Learning". Journal of Transport Safety.