

Informe proyecto etapa 3

Nombres:

Juan Diego Sánchez

Brayan Salcedo

Julian Parra

1. Descripción del problema

El problema que se abordó en el proyecto corresponde al problema de capacidad de recorrido de vehículo, una generalización del problema del viajante de comercio que incorpora múltiples vehículos con capacidad limitada. El objetivo es determinar las rutas óptimas para una flota de camiones que deben abastecer a un conjunto de clientes desde un único depósito, minimizando el costo total operativo y respetando las restricciones de capacidad y demanda.

Las instancias que incluyen este proyecto son los puertos, los vehículos y diferentes ciudades como clientes con demandas específicas, y una red de rutas geográficas modelada mediante distancias reales. En los casos extendidos, se incorpora estaciones de recarga, peajes y restricciones de pesos en las vías.

Las principales restricciones se incluye restricciones como la satisfacción total de la demanda, la no superación de la capacidad de peso del vehículo, continuidad de flujo (es decir no saltos entre nodos), autonomía por consumo de combustible, y en los casos, límites de ingreso por tonelaje y costos variables por peaje.

2. Método implementado

El método metaheurístico que se implementó fue un algoritmo genético desarrollado en el notebook del caso 2 y un ant colony. Estos enfoques se seleccionaron por su capacidad de explorar grandes espacios de búsqueda de forma eficiente. Cada individuo representa una solución candidata como una permutación de clientes. En el algoritmo genético la reparación se realiza dividiendo la secuencia en rutas viables que no excedan la capacidad del vehículo. En ambos la evaluación de la solución se basa en el costo total del recorrido, considerando distancia, carga y dependiendo del caso, recarga y peajes, en particular en el ant colony se penaliza elegir la ruta más larga.

En el algoritmo genético se implementaron operadores como el cruce entre individuos, la mutación de individuos (que se hizo intercambios aleatorios) y la selección. La calibración de parámetros se realizó empíricamente, determinando que una población de 1000 individuos, con 7000 generaciones y una probabilidad de mutación de 30%, ofrece un buen equilibrio entre calidad y tiempo de solución para las instancias dadas.

En el ant colony, las hormigas son posibles soluciones, tal que se envían los 8 vehículos (o no) cubriendo todos los nodos de las ciudades, y en el caso 3

adicionalmente utilizando los stations para recargar y seguir adelante. Posteriormente, se actualizan los mejores enlaces, con las feromonas, y se buscan las mejores soluciones.

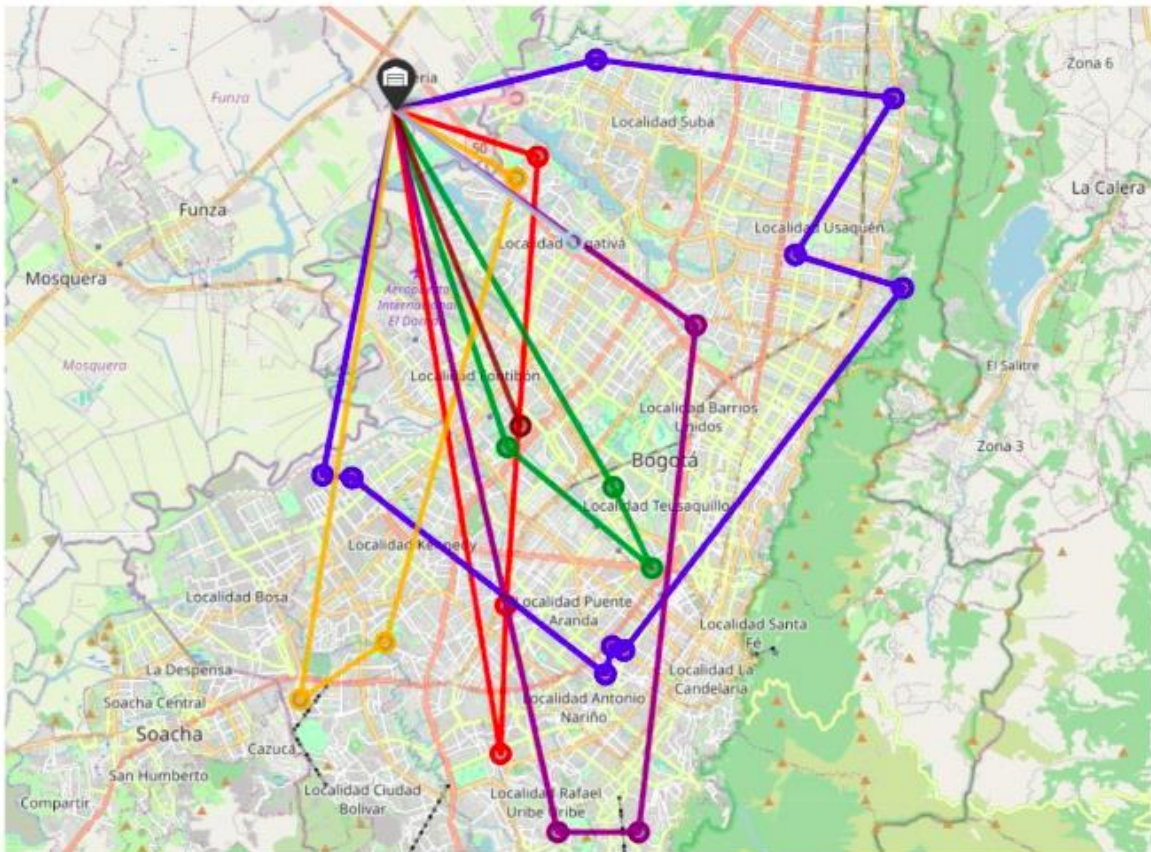
3. Resultados experimentales

Se realizó una serie de experimentos sobre las tres variantes del problema (caso base, segundo caso y tercer caso). Para cada una se ejecutaron tanto el modelo exacto con Pyomo como el algoritmo genético.

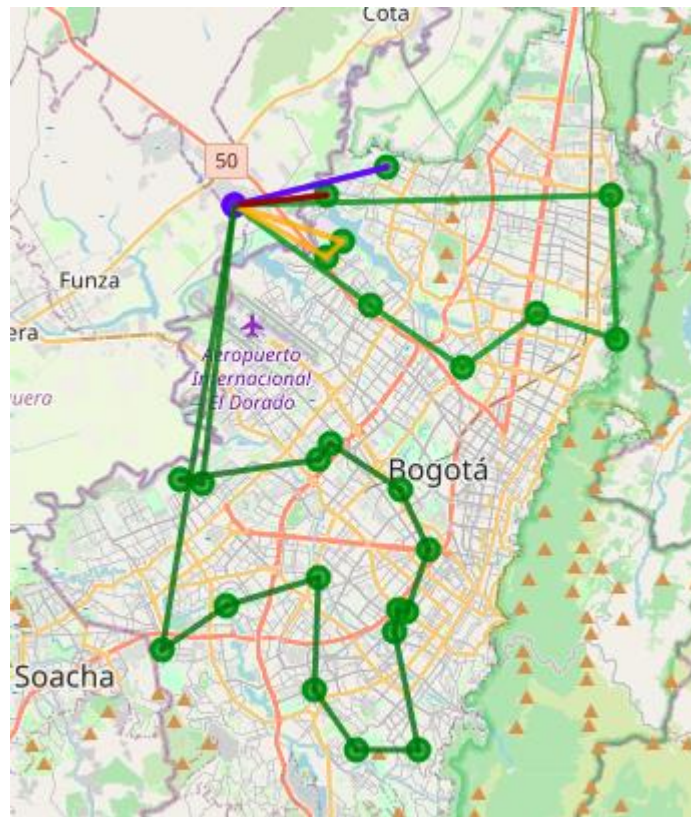
Las visualizaciones geospaciales confirman una distribución lógica y regionalmente coherente de las rutas. Se incorporaron mapas dinámicos que muestran estaciones de recarga, clientes y peajes, permitiendo una interpretación visual del impacto de cada restricción en la solución.

Caso base:

Pyomo: Se puede observar en el informe del proyecto 2 que se puede observar en la carpeta adjuntos del repositorio. Su valor objetivo fue de \$254690.



Ant Colony: Se envían 5 rutas, y el costo total fue de 123.74 km correspondiente a la distancia recorrida, equivalente a unos \$129820.



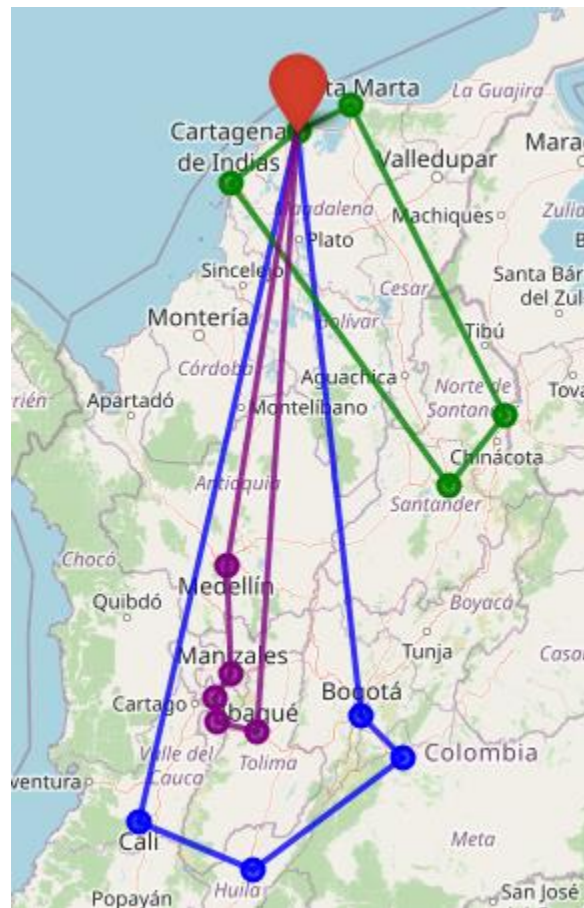
De esta forma encontramos que la metaheurística encontró una solución i
ncluso mejor que el solver.

Caso 2:

Pyomo:

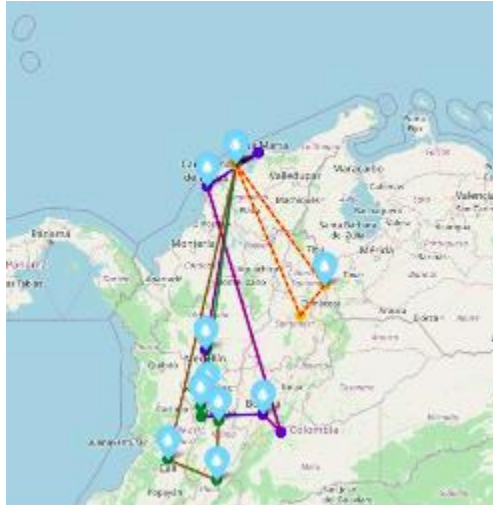


GA: El valor de la función objetivo es 4594.00, esto muestra que a su vez es menor que los costos de la teórica.

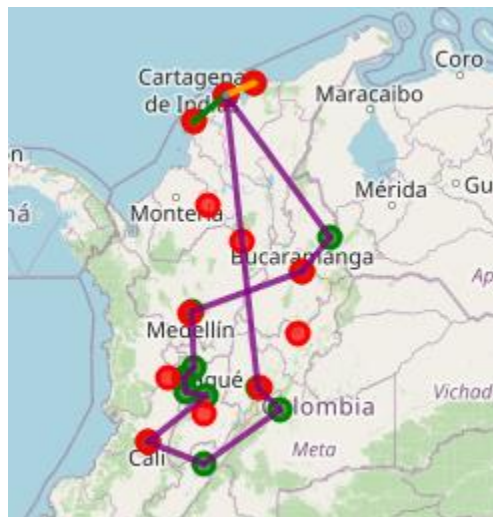


Caso 3:

pyomo:



Ant colony: costo total de 24995961.96, por lo que se considera mejor las rutas obtenidas por el teórico.



Cabe recalcar que el modelo de metaheurística generalmente está muy a la par que el teórico, esto indica que son muy valiosos y no se deben olvidar a la hora de revisar casos de optimización. Adicionalmente, es probable que con cambios en las implementaciones (en específico del caso 3) se puedan encontrar mejores resultados. Adicionalmente, el hecho de encontrar mejores valores que en el teórico se puede deber a que los solvers no siempre encontraron soluciones óptimas, y a la calidad de los modelos propuestos.

4. Análisis de escalabilidad

El algoritmo fue probado en diferentes casos, incrementado progresivamente el número de clientes. Se observó que el modelo exacto comienza a presentar dificultades computacionales en tiempos de solución, mientras que la metaheurística mantiene tiempos estables y soluciones factibles incluso en el tercer caso (el cual era el más costoso de resolver computacionalmente hablando).

En cuanto a aplicabilidad, el enfoque metaheurístico es preferible en entornos donde las restricciones son dinámicas o el problema cambia con alta frecuencia, ya que su estructura flexible permite ajustes rápidos sin reescribir el modelo matemático.

Para mejorar aún más la escalabilidad, se podría explorar estrategias como la realización en las máquinas locales o máquinas con mayor ram, pues esa fue una de las limitaciones que tuvo el proyecto, de igual forma se puede buscar que el código tenga hilos para ejecutar el proceso paralelamente y el tiempo se disminuya y así aprovechar de mejor manera los recursos de la máquina.

5. Discusión

Cada enfoque tiene sus ventajas, el modelo exacto ofrece optimalidad demostrada y justificada matemáticamente, pero no es bueno en cuanto a escalabilidad y en tiempo de ejecución. Mientras que, la implementación de metaheurísticas permite resolver problemas grandes en tiempos razonables con soluciones buenas, pero no garantiza que sean las óptimas.

Se recomienda utilizar modelos exactos en fases estratégicas o para problemas pequeños, y metaheurísticas en problemas grandes y con múltiples restricciones variantes. Durante el desarrollo se enfrentaron desafíos como la modelación eficiente de recarga de combustible, la linealización de costos de peaje por tonelada, el problema de flujo donde un vehículo “saltaba” de un nodo a otro nodo y restricciones en las máquinas como la ram para resolver los problemas más complejos.

6. Conclusiones

El proyecto logró desarrollar e implementar un sistema robusto para la planificación logística nacional mediante técnicas exactas y metaheurísticas. Se demostró que el uso de algoritmos genéticos bien calibrados puede producir soluciones eficientes, flexibles y adaptadas a restricciones reales como autonomía, peajes y límites de peso.

Las estrategias de representación, evaluación y visualización permitieron validar el comportamiento del sistema y ofrecer resultados explicables y accionables. En particular, se comprobó que la calidad de las soluciones del GA es competitiva frente a los modelos exactos en costos, con ventajas notables en tiempo y adaptabilidad.

A futuro, se sugiere integrar componentes estocásticos (como congestión o demoras) y considerar ventanas de tiempo, así como explorar metaheurísticas híbridas para mejorar aún más el rendimiento y la precisión del sistema. Además, de

que se podría implementar para utilizar en maquina local y mejorar lo recursos de la máquina, para mejorar los tiempos de ejecución.