

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y
COMPUTACIÓN



PROYECTO A
ISIS 3302 – MODELACIÓN, SIMULADO Y OPTIMIZACIÓN

Laura Sofia Murcia Carreño 202123099
María Alejandra Angulo Mejía 202121458
Samuel Ramírez 202123423

Índice

1. Introducción	2
2. Caso 1	2
2.1. Solución factible	2
3. Caso 2	3
3.1. Solución factible	3
4. Caso 3	4
4.1. Partición del Problema	5
4.2. Reporte detallado por Centro y vehículo	6
4.3. Variaciones	7
4.4. Análisis del comportamiento de vehículos	8
4.5. Estadísticas globales	10
4.6. Conclusiones	11

1. Introducción

En esta ocasión se resuelve el problema de A, Optimización en la Planeación de Transporte Vehicular Urbana Para LogistiCo. Se diseccionará el problema para saber que pasos se deben seguir para optimizar las rutas de distribución.

Este problema, como fue explorado en la parte A del proyecto, es un problema CVRP, que busca al tradicional VRP agregar la restricción de capacidad. Para explorar las implicaciones de este problema, se divide su implementación en 3 etapas, el caso 1, el caso 2 y el caso 3. El caso 1 tiene como objetivo correr el caso base, para poder conocer las complejidades del problema desde su versión canónica. El caso 2, busca estudiar la posibilidad de asignar diferentes depósitos, y si estas nuevas modificaciones son factibles y óptimas. Este 2 caso es esencial ya que el 3 caso es una versión escalada del segundo caso. En esta ocasión lo que se opta por hacer es generar subconjuntos de asignación para agilizar y facilitar la generación de rutas viables y óptimas.

2. Caso 1

Como se mencionó anteriormente, el caso 1 se encarga de solucionar el caso base, asumiendo que parte de un único depósito. En esta ocasión nos interesaba que aunque no se tenían que utilizar todos los vehículos, si se debían visitar todos los clientes. En esta ocasión se implementó el modelo, donde las restricciones que se utilizaron fueron

- Asignación única a cliente
- Conservación del flujo
- Salida y regreso al depósito
- Capacidad del vehículo
- Rangos de autonomía
- Eliminación de subrutas

Estas restricciones permitieron la solución factible presentada a continuación.

2.1. Solución factible

En la figura 1 donde se visitan todos los clientes así no se utilicen todos los carros. Asimismo para una verificación más detallada se puede ver en el enlace https://github.com/marialeang2/Proyecto1_MOS/blob/main/modelos/verificacion_caso1.csv

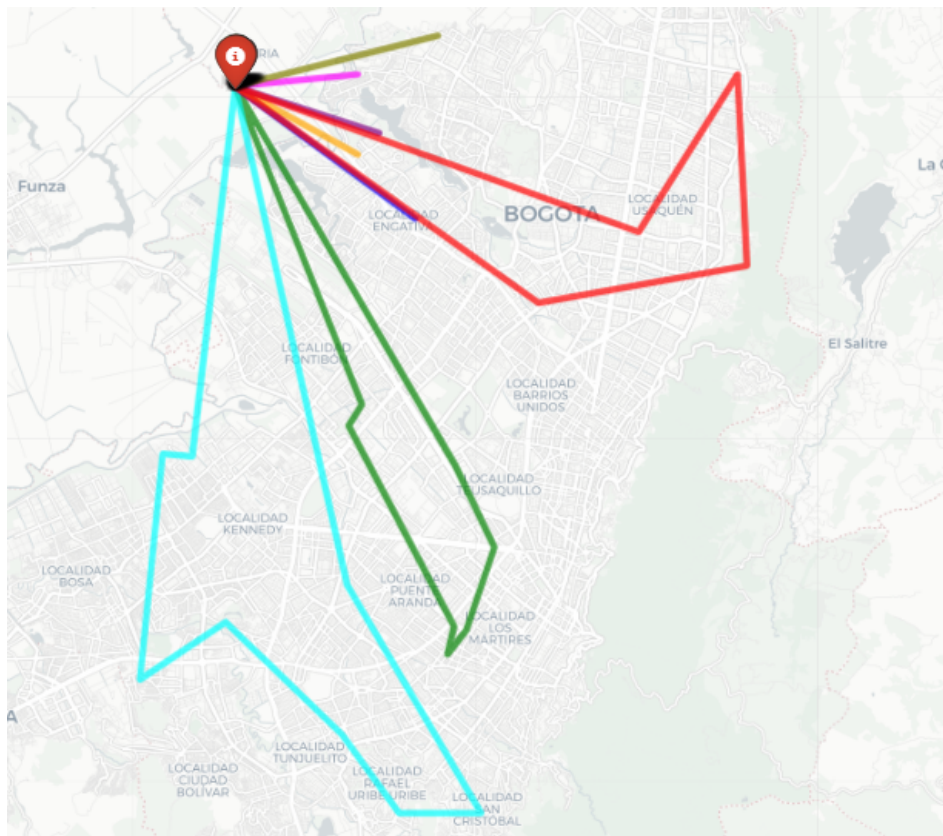


Figura 1: Solución Caso 1

Esto demuestra la viabilidad del caso base de la manera en la que fue planteado.

3. Caso 2

A diferencia del caso 1, en el que se consideraba el depósito como el único punto de inicio y final. El segundo caso busca agregar zonas de distribución, donde el inicio y final de cada vehículo puede variar.

En esta ocasión se utilizan las siguientes restricciones:

- Demanda satisfecha
- Capacidad del vehículo
- Conservación de flujo
- Salida desde depósitos
- Eliminación de subrutas
- Asignación única de visita: cada cliente debe ser visitado una sola vez por un único vehículo.

3.1. Solución factible

En esta ocasión se ve la solución factible del caso 2 en la figura 2. En este se ven rutas más cortas y en menos vehículos, minimizando evidentemente costos, lo que a su vez facilita la rapidez de ejecución. La información de confirmación se encuentra en https://github.com/marialeang2/Proyecto1_MOS/blob/main/modelos/verificacion_caso2.csv.

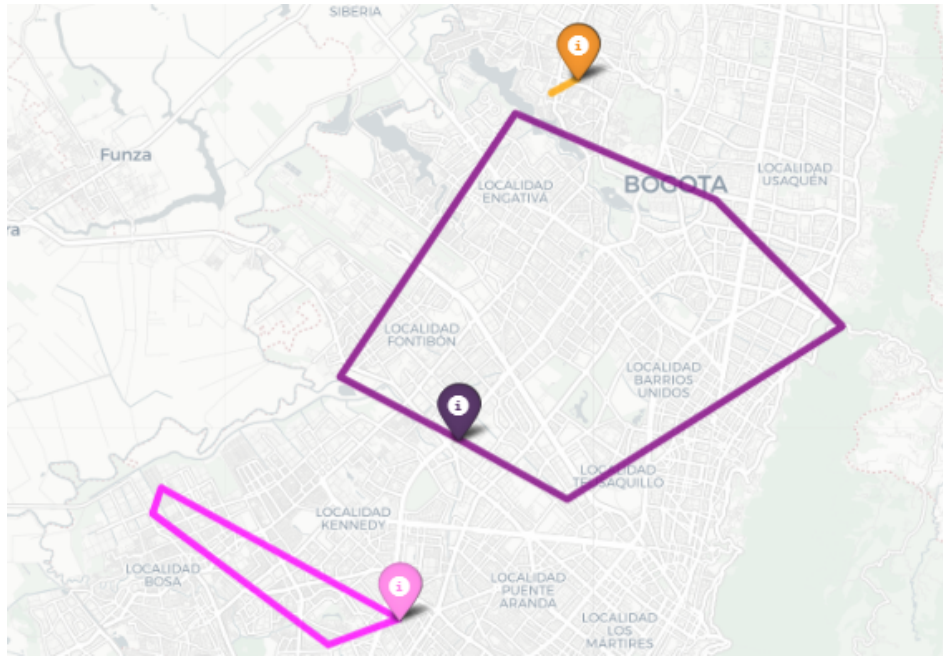


Figura 2: Solución factible del caso 2

4. Caso 3

En este escenario se plantea una situación de ruteo de vehículos bajo condiciones realistas propias de un entorno urbano complejo. A diferencia de los casos anteriores, se escala el problema a un contexto más cercano a las operaciones reales de una empresa logística, considerando entre 50 y 100 clientes distribuidos geográficamente, la presencia de una flota heterogénea y restricciones urbanas avanzadas, como zonas con acceso limitado, penalizaciones por congestión o calles restringidas para ciertos tipos de vehículos. En este caso se desea ver el efecto de las variables en el modelo y entender que decisiones son mejores para el negocio. El primer paso fue definir que si eras factible. como se puede ver en la figura 3. Asimismo se encuentra el caso de verificación en el link https://github.com/marialeang2/Proyecto1_MOS/blob/main/modelos/verificacion_caso3.csv

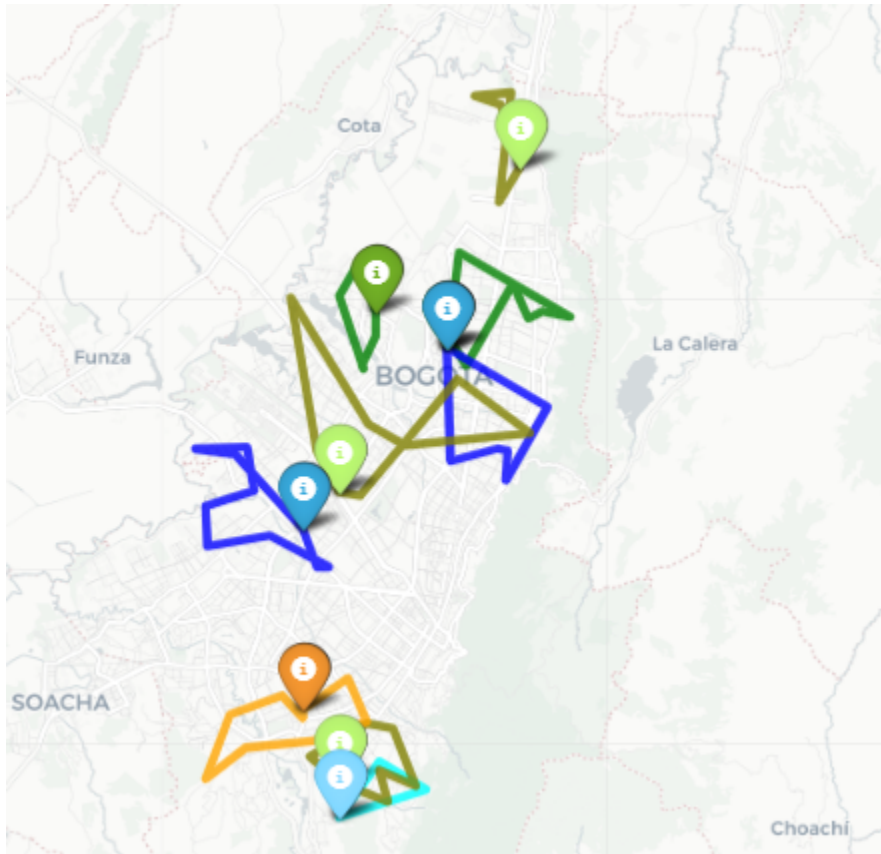


Figura 3: Solución Caso 3

4.1. Partición del Problema

Para poder resolver el problema de un mayor tamaño se decidió optar por la reducción de soluciones posibles. Esto se hizo reduciendo el tamaño mismo del modelo, eliminando variables y restricciones que por la aproximación de la solución no se iban a utilizar. El proceso seguido se detalla a continuación.

- Para reducir el espacio de soluciones se le fueron asignados a cada deposito sus clientes. Esto reduce considerablemente las variables a utilizar. Por ejemplo si al cliente 1 se le asignó el deposito 2. Ya se sabe que las variables que involucren el cliente 1 con cualquier otro deposito serán 0. Es por esto que estas variables no se crean en el modelo.
- Si las variables no se crean esto repercute tanto en la función objetivo como en las restricciones. Primero, si hay menos variables entonces la función objetivo tiene menos variables que solucionar. Esto hace que el espacio de posibles soluciones sea más pequeño y por ende se pueda llegar a una solución aproximada de manera más rápida.
- Un trade off de esta aproximación es la probabilidad que con la reducción de soluciones posibles al problema no se está llegando al óptimo del problema, ya que el óptimo del espacio de soluciones reducido que se ha planteado para el problema no sea el óptimo del problema principal que se quiere solucionar. Esto a cambio de una posible solución en un tiempo reducido.
- Se probaron múltiples solucionadores MIP/LP entre los que se encuentran: GLPK, Coin CBC, Appsi HIGHS, CPLEX y gurobi. Y el único que pudo dar una solución aproximada al problema fue el solver de gurobi. Por lo que para este tipo de problemas tan extensos. (ya que la matriz de distancias tiene miles de elementos), no se recomienda solucionarlo por medio de solucionadores MIP/LP. Otro tipo de estrategias deben ser utilizadas. Como la aproximación hecha para reducir el espacio de soluciones o el uso de una heurística o metaheurística.

4.2. Reporte detallado por Centro y vehículo

Dada la solución que el problema aproximado arrojó se tiene que para cada centro de distribución un único vehículo fue utilizado es por esto que el análisis de costo se simplifica un poco más. Además en la solución aproximada se evidencio que ningún cliente tiene como depósito más cercano el depósito número 1. Es por esto que el uso de este depósito fue de 0. Mientras que a continuación se muestran los costos de uso por vehículo (Ya que cada vehículo recorre la distancia la cual influye en el costo).

Centro distribución 4, Vehículo 1:

- Distancia total recorrida: 91km
- Tiempo total utilizado: 9794.4min
- Costo total combustible: 1364607
- Costo total mantenimiento: 63700
- Clientes atendidos: 7
- Demanda Satisfecha: 84

Centro distribución 4, Vehículo 9:

- Distancia total recorrida: 67.5km
- Tiempo total utilizado: 6885.4 min
- Costo total combustible: 1011778
- Costo total mantenimiento: 47250
- Clientes atendidos: 5
- Demanda Satisfecha: 60

Centro distribución 3, Vehículo 4:

- Distancia total recorrida: 37.4km
- Tiempo total utilizado: 4157.5 min
- Costo total combustible: 560435
- Costo total mantenimiento: 26180
- Clientes atendidos: 4
- Demanda Satisfecha: 47

Centro distribución 2, Vehículo 11:

- Distancia total recorrida: 17.7km
- Tiempo total utilizado: 2777.2 min
- Costo total combustible: 265842
- Costo total mantenimiento: 12390
- Clientes atendidos: 2
- Demanda Satisfecha: 24

Centro distribución 10, Vehículo 13:

- Distancia total recorrida: 19.7km
- Tiempo total utilizado: 2737.7min
- Costo total combustible: 295696
- Costo total mantenimiento: 13790
- Clientes atendidos: 6
- Demanda Satisfecha: 65

Centro distribución 11, Vehículo 22:

- Distancia total recorrida: 51.5km
- Tiempo total utilizado: 4682.7min
- Costo total combustible: 772239
- Costo total mantenimiento: 36050
- Clientes atendidos: 7
- Demanda Satisfecha: 81

Centro distribución 12, Vehículo 23:

- Distancia total recorrida: 29.9km
- Tiempo total utilizado: 3671.4 min
- Costo total combustible: 447919
- Costo total mantenimiento: 20930
- Clientes atendidos: 8
- Demanda Satisfecha: 96

Centro distribución 6, Vehículo 27:

- Distancia total recorrida: 37.5km
- Tiempo total utilizado: 3809.5 min
- Costo total combustible: 562239
- Costo total mantenimiento: 26250
- Clientes atendidos: 9
- Demanda Satisfecha: 102

Centro distribución 9, Vehículo 28:

- Distancia total recorrida: 15.9km
- Tiempo total utilizado: 1679.3 min
- Costo total combustible: 237788
- Costo total mantenimiento: 11130
- Clientes atendidos: 5
- Demanda Satisfecha: 60

4.3. Variaciones

Para entender cuáles son las variables que más afectan al modelo, se opta por realizar diferentes pruebas que permitan un análisis más claro. En primer lugar, se resuelve el modelo aumentando en un 20 % el precio de la gasolina. Esta modificación genera la solución presentada en la figura [4](#).

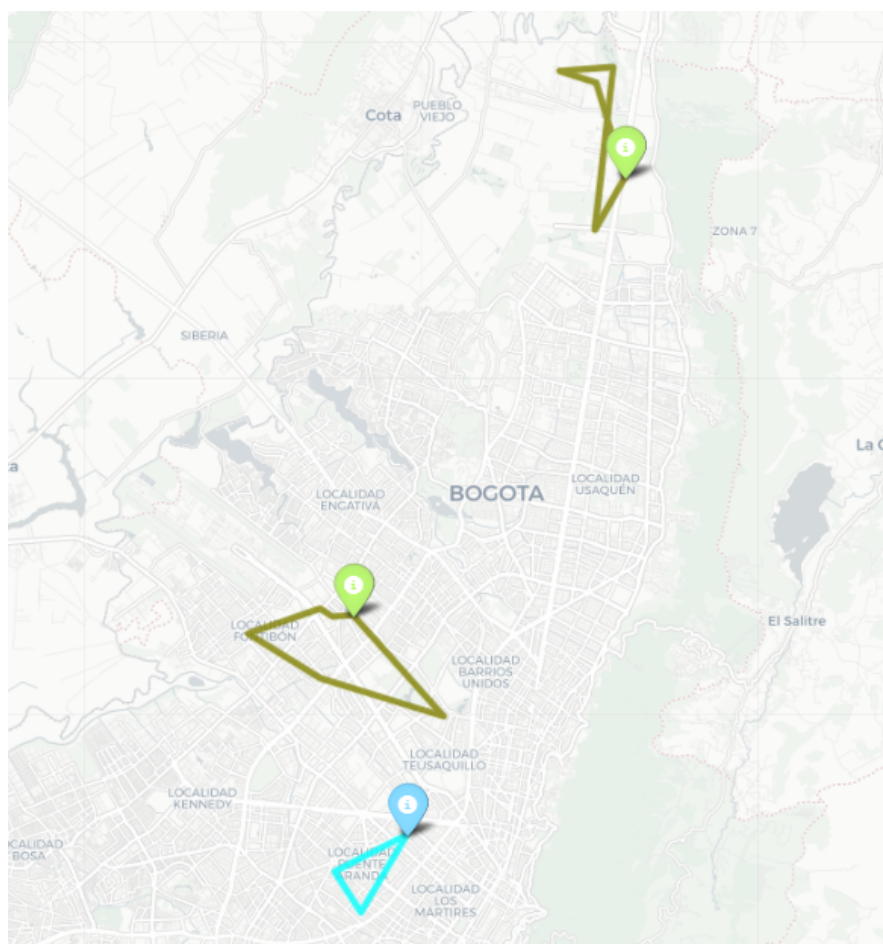


Figura 4: Solución con aumento del 20 % en el precio de la gasolina

La nueva solución muestra que el incremento del precio produce una respuesta menos óptima, ya que se recorren menos puntos con el mismo presupuesto. Además, se evidencia que al aumentar el costo de la gasolina, el modelo prioriza menos clientes, lo cual contrasta con la solución base (3), donde se logra atender a todos. Esto confirma que el aumento del precio de la gasolina tiene un impacto significativo en el comportamiento del sistema y en las decisiones logísticas.

4.4. Análisis del comportamiento de vehículos

En la gráfica 5 se observa que el vehículo que más consume gasolina es el VEH001, lo que sugiere que ha recorrido una mayor distancia, asumiendo que todos los vehículos son homogéneos. En este mismo escenario, los otros dos vehículos con mayor consumo son el VEH009 y el VEH022. Esto indica que, por la proporcionalidad entre gasolina y movilidad, estos son los carros que más se desplazan dentro de la ciudad.

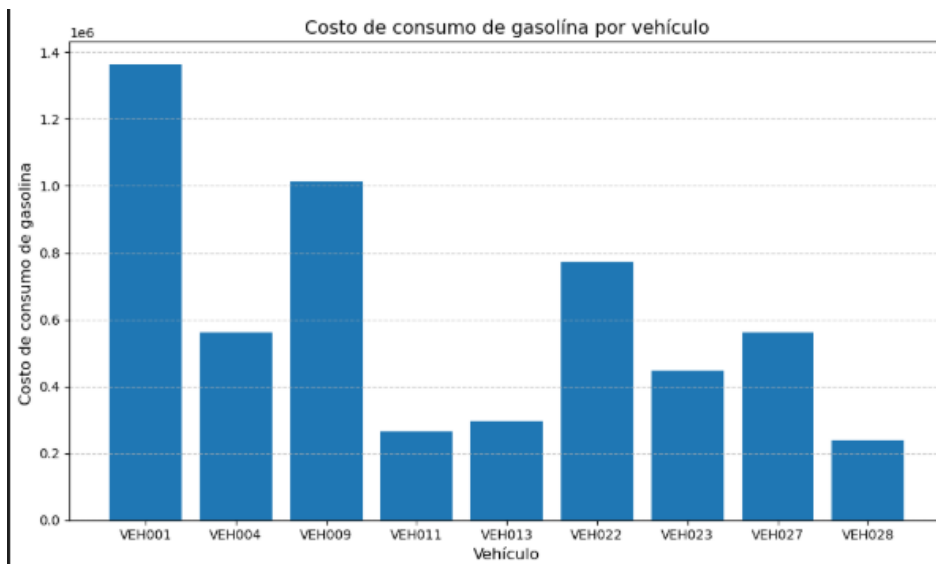


Figura 5: Costo de consumo de gasolina

Estos patrones se repiten también para las métricas de tiempo y distancia recorrida por vehículo.

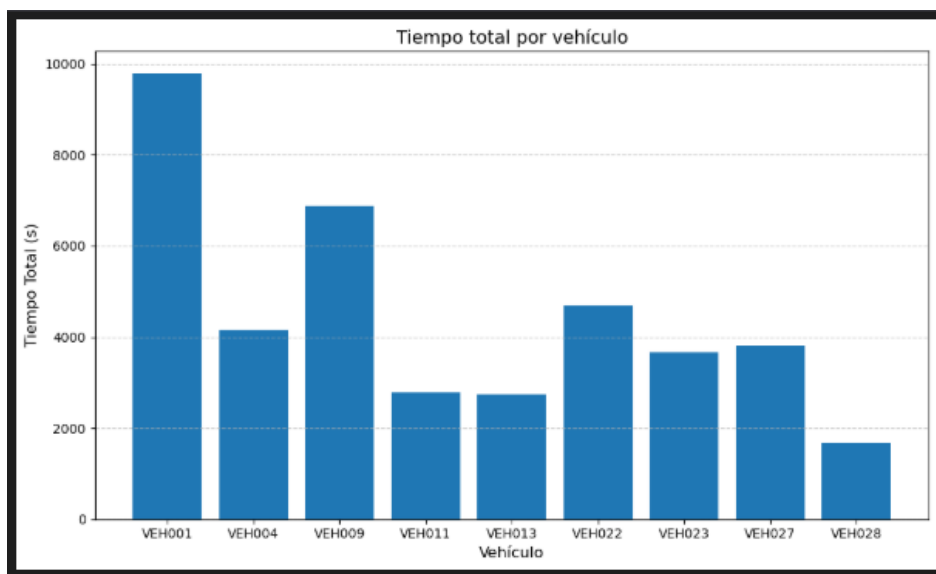


Figura 6: Tiempo total por vehículo

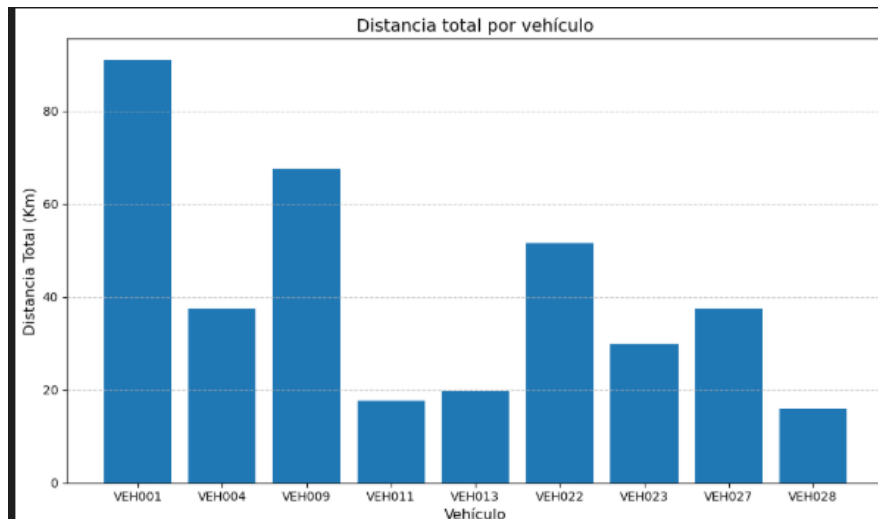


Figura 7: Distancia total por vehículo

Como se evidencia, el consumo de gasolina está directamente vinculado con el tiempo en ruta y la distancia recorrida por cada carro.

Un dato que no presenta correlación con las demás métricas es la carga transportada. Los vehículos VEH027, VEH023 y VEH022 registran las cargas más elevadas, mientras que VEH011 presenta una carga significativamente menor. Esto sugiere que existe una estrategia diferenciada de asignación de carga, probablemente influenciada por la capacidad de los vehículos o por restricciones operativas del entorno.

4.5. Estadísticas globales

De las estadísticas globales se evidenció que el sistema no es del todo estable. A continuación se presentan los principales resultados:

- **Tiempo total estimado:** 40,195 segundos.
 - Promedio por vehículo: 4,466 segundos.
 - Desviación estándar: ~2,476 s, lo que sugiere una alta variabilidad en las rutas y tareas asignadas.
- **Carga total distribuida:** 619 unidades.
 - Promedio por vehículo: 68.8 unidades.
 - Desviación estándar: ~24.68 unidades, lo que indica que algunos vehículos fueron utilizados más intensamente que otros.
- **Distancia total recorrida:** 368.1 km.
 - Promedio por vehículo: ~40.9 km.
 - Desviación estándar: ~25.22 km, evidenciando diferencias significativas entre las rutas recorridas.

Esta información sugiere que no existe una estandarización clara entre soluciones, y que la alta variabilidad observada refleja la necesidad de incorporar más estudiantes para mejorar la distribución del trabajo y la eficiencia general del sistema.

4.6. Conclusiones

- El consumo de gasolina determina en gran medida la economía del conductor, por lo que cualquier decisión operativa debe considerar este factor como prioritario.
- Los principales cuellos de botella se presentan en los trancones operativos y las restricciones del sistema. En este caso, el vehículo enfrenta límites estructurales que deben respetarse para garantizar un desempeño seguro y eficiente.
- Se recomienda realizar pruebas adicionales para evaluar si existe un equilibrio adecuado entre los costos asumidos y las rutas asignadas.