

# Rutas Vehiculares

Autor(es): Juan José Muñoz Noda y Ovidio Navarro Pazos

## Abstract

**Resumen:** Una de las tareas de optimización más comunes es el enrutamiento de vehículos, cuyo objetivo es encontrar las mejores rutas para una flota de vehículos que visitan un conjunto de ubicaciones. Generalmente, "mejores" significa rutas con la menor distancia total o costo. Este reporte describe varios ejemplos de problemas de enrutamiento, como la asignación de rutas para entregas de paquetes, visitas de técnicos de servicio y recogida y entrega de pasajeros por parte de empresas de transporte compartido.

El problema más famoso de enrutamiento es el Problema del Viajante (TSP), que consiste en encontrar la ruta más corta para un viajante que debe visitar diferentes ubicaciones y regresar al punto de inicio. A medida que aumenta el número de ubicaciones, el problema se vuelve más complejo, requiriendo técnicas de optimización para encontrar una solución óptima o casi óptima.

Una versión más general del TSP es el problema de enrutamiento de vehículos (VRP), en el cual se utilizan múltiples vehículos y se deben considerar restricciones como la capacidad de carga, ventanas de tiempo y recursos necesarios en los puntos de origen. Sin embargo, los problemas de enrutamiento de vehículos son inherentemente intratables, ya que el tiempo necesario para resolverlos crece exponencialmente con el tamaño del problema.

**Palabras claves:** rutas, restricciones, viajante, vehículo

# Contents

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>4</b>
1.1	Definición del Problema . . . . .	4
1.2	Aplicaciones . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Modelo</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Especificación</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>7</b>
4.1	Mejoras futuras . . . . .	8

# 1 Introducción

## 1.1 Definición del Problema

El Problema del Viajante (TSP, por sus siglas en inglés) es uno de los problemas más famosos y estudiados en la optimización de rutas vehiculares. Se puede modelar mediante un grafo, donde los nodos representan ubicaciones y las aristas representan las rutas directas entre ellas. El objetivo del TSP es encontrar un camino óptimo que permita visitar todos los nodos exactamente una vez y regresar al punto de inicio, minimizando la distancia total recorrida o el costo asociado.

El TSP puede considerarse como un problema base al cual se pueden añadir diversas restricciones para modelar situaciones más complejas y realistas. Entre estas restricciones se incluyen:

**Restricciones de Capacidad:** Los vehículos tienen una capacidad máxima en términos de peso o volumen que pueden transportar.

**Ventanas de Tiempo:** Los vehículos deben visitar ciertos nodos dentro de intervalos de tiempo específicos, lo que añade una dimensión temporal al problema.

**Varios Viajantes:** En lugar de un solo viajante, se puede tener una flota de vehículos que deben cooperar para cubrir todas las ubicaciones.

**Recursos Limitados:** Los vehículos pueden necesitar recursos específicos, como personal adicional para cargar y descargar, o pueden estar limitados por el número de viajes que pueden realizar.

**Visitas Opcionales:** No todos los nodos necesitan ser visitados, pero hay penalizaciones asociadas a cada visita omitida.

Al añadir estas restricciones, el problema se transforma en el Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP, por sus siglas en inglés), que es una generalización del TSP. El VRP es fundamental en muchas aplicaciones prácticas, como la planificación de rutas para la entrega de paquetes, servicios de mantenimiento y transporte compartido.

La complejidad de estos problemas aumenta exponencialmente con el número de ubicaciones y restricciones. Aunque es posible encontrar soluciones óptimas para instancias pequeñas mediante búsqueda exhaustiva, en la práctica se utilizan técnicas de optimización avanzadas, como algoritmos heurísticos y metaheurísticos, para encontrar soluciones óptimas o casi óptimas en un tiempo razonable.

Las herramientas de optimización como Google OR-Tools están diseñadas para abordar estos problemas complejos, proporcionando algoritmos eficientes y opciones de personalización que permiten ajustar las estrategias de búsqueda para obtener mejores soluciones. Estas herramientas son esenciales para

mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en diversas industrias.

## 1.2 Aplicaciones

Las aplicaciones de los problemas de enrutamiento de vehículos son diversas y abarcan múltiples industrias, gracias a la posibilidad de incorporar una variedad de restricciones que permiten extrapolar soluciones a problemas del mundo real con gran versatilidad. A continuación, se describen algunas de las aplicaciones más relevantes:

### 1. Logística y Distribución de Paquetes:

Empresas de mensajería y paquetería, como DHL, FedEx y UPS, utilizan algoritmos de enrutamiento de vehículos para planificar las rutas de entrega más eficientes. Incorporan restricciones de capacidad, ventanas de tiempo y múltiples vehículos para optimizar el proceso de distribución, reduciendo así los costos operativos y mejorando la satisfacción del cliente.

### 2. Servicios de Mantenimiento y Reparación:

Compañías de servicios como las de cable, electricidad y mantenimiento de ascensores dependen de soluciones de enrutamiento para asignar tareas a técnicos de manera eficiente. Estas aplicaciones consideran ventanas de tiempo para las citas de los clientes y las capacidades de los técnicos, mejorando la eficiencia del servicio y reduciendo el tiempo de espera de los clientes.

### 3. Transporte Público y Privado:

Empresas de transporte público y servicios de ride-sharing, como Uber y Lyft, utilizan modelos de enrutamiento para asignar rutas óptimas a sus vehículos. Estas soluciones pueden incluir restricciones de tiempo y capacidad, y son esenciales para minimizar los tiempos de espera de los pasajeros y maximizar la utilización de los vehículos.

### 4. Gestión de Flotas Comerciales:

Las compañías con grandes flotas de vehículos, como las de transporte de mercancías y distribución de productos, emplean algoritmos de enrutamiento para planificar las rutas más eficientes. Esto no solo reduce los costos de combustible y mantenimiento, sino que también garantiza el cumplimiento de las restricciones de tiempo y capacidad.

### 5. Entrega de Alimentos y Comercio Electrónico:

Servicios de entrega de alimentos como DoorDash, Uber Eats y empresas de comercio electrónico como Amazon, utilizan enrutamiento de

vehículos para coordinar las entregas en ventanas de tiempo específicas. Esto es crucial para garantizar la frescura de los alimentos y la puntualidad en la entrega de productos, mejorando así la experiencia del cliente.

#### **6. Salud y Asistencia Domiciliaria:**

En el sector salud, las soluciones de enrutamiento ayudan a planificar las visitas de los profesionales de la salud a los hogares de los pacientes. Estas aplicaciones tienen en cuenta restricciones de tiempo y rutas optimizadas para asegurar que los pacientes reciban la atención necesaria de manera oportuna y eficiente.

La capacidad de adaptar las soluciones de enrutamiento de vehículos a diferentes tipos de restricciones y escenarios hace que estas aplicaciones sean extremadamente versátiles y valiosas en la optimización de operaciones logísticas y de servicio en diversas industrias. Las herramientas de optimización, como Google OR-Tools, juegan un papel fundamental en la implementación de estas soluciones, permitiendo a las empresas mejorar su eficiencia operativa y reducir costos de manera significativa.

## **2 Modelo**

El modelo utilizado ha sido Google OR-Tools, una herramienta muy eficiente y versátil diseñada para abordar problemas de optimización combinatoria, incluyendo los problemas de enrutamiento de vehículos. Google OR-Tools permite trabajar con diversas restricciones mencionadas previamente, como capacidades de los vehículos, ventanas de tiempo, múltiples viajantes, y más.

A pesar de que estos problemas son NP-Hard, lo que significa que la complejidad de resolverlos crece exponencialmente con el tamaño del problema, Google OR-Tools se destaca por su capacidad para proporcionar soluciones aproximadas de alta calidad en un tiempo razonable. Esto es posible gracias a la implementación de algoritmos avanzados, heurísticos y metaheurísticos, que optimizan la búsqueda de soluciones dentro del espacio de soluciones posibles.

OR-Tools es capaz de manejar grandes conjuntos de datos y diversas restricciones simultáneamente, ofrece una solución robusta y eficiente para resolver problemas complejos de enrutamiento de vehículos, proporcionando resultados óptimos o casi óptimos incluso en escenarios con grandes volúmenes de datos y múltiples restricciones, lo que mejora significativamente la eficiencia operativa y reduce costos en diversas industrias.

### 3 Especificación

Para abordar de manera integral todas las variantes del problema de enrutamiento de vehículos, se ha desarrollado una aplicación de consola intuitiva y fácil de usar. Esta aplicación facilita a los usuarios la configuración y resolución de diferentes versiones del problema, permitiéndoles seleccionar las restricciones específicas que desean aplicar y proporcionar los datos necesarios de manera sencilla y eficiente.

La aplicación permite a los usuarios:

- **Seleccionar Restricciones:** Los usuarios pueden elegir entre una variedad de restricciones predefinidas, como capacidad de los vehículos, ventanas de tiempo, múltiples vehículos, restricciones de recursos y penalizaciones por visitas omitidas. Esto ofrece flexibilidad para adaptar el modelo a diferentes escenarios y necesidades específicas.
- **Ingresar Datos de Forma Intuitiva:** La aplicación incluye mecanismos para la entrada de datos que simplifican el proceso.
- **Solución Eficiente:** Utilizando Google OR-Tools como motor de optimización, la aplicación es capaz de procesar grandes volúmenes de datos y generar soluciones aproximadas de alta calidad en un tiempo razonable. Esto garantiza que incluso los problemas más complejos puedan ser abordados de manera efectiva.
- **Resultados Claros y Accionables:** La aplicación presenta los resultados de manera clara y detallada, mostrando las rutas optimizadas, los costos asociados y cualquier otra métrica relevante.

### 4 Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un análisis exhaustivo del problema, explorando detalladamente su descripción junto con múltiples restricciones y variantes. Además, se han examinado diversas aplicaciones y usos potenciales de las soluciones propuestas. Se destacó la versatilidad de OR-Tools para abordar estos desafíos, demostrando no solo su capacidad para resolver problemas de manera efectiva, sino también su eficiencia al manejar grandes volúmenes de datos. Aunque en casos de complejidad elevada no siempre alcanza la solución óptima, OR-Tools demuestra consistentemente la habilidad de aproximar soluciones muy útiles y prácticas.

## 4.1 Mejoras futuras

Como posibles adiciones a la aplicación de consola, se podría considerar la capacidad de cargar los datos desde un fichero CSV, lo cual facilitaría la entrada de datos estructurados y extendería la flexibilidad del programa. Además, sería beneficioso incorporar una interfaz visual intuitiva que permita a los usuarios interactuar de manera más sencilla con el software. Esto no solo mejoraría la usabilidad, sino que también podría aumentar la accesibilidad para usuarios menos familiarizados con la línea de comandos.

Se deja abierta la posibilidad para futuros desarrollos de agregar otros tipos de restricciones o incluso de combinar todas las variantes del problema. Esto aseguraría que la aplicación sea adaptable a diferentes escenarios y requisitos específicos, manteniendo su relevancia y utilidad a largo plazo.

## References

- [1] Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2014). *The Vehicle Routing Problem*. SIAM.
- [2] Golden, B., Raghavan, S., & Wasil, E. (Eds.). (2008). *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Springer.
- [3] Cordeau, J. F., Laporte, G., & Mercier, A. (Eds.). (2002). *Metaheuristics for the Time-Dependent Vehicle Routing Problem*. Kluwer Academic Publishers.
- [4] Archetti, C., & Speranza, M. G. (Eds.). (2018). *The Multi-Depot Vehicle Routing Problem*. Springer.
- [5] Google OR-Tools. (2023). User guides. <https://developers.google.com/optimization/routing>

La documentación oficial de la suite de herramientas OR-Tools de Google, utilizada en las implementaciones del reporte.