

# RUTEO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICO USANDO GRAFOS

Sebastián Giraldo Gómez  
Universidad Eafit  
Colombia  
sgiraldog@eafit.edu.co

Alejandro Cano Múnera  
Universidad Eafit  
Colombia  
acanom@eafit.edu.co

Mauricio Toro  
Universidad Eafit  
Colombia  
mtorobe@eafit.edu.co

## RESUMEN

El problema de encontrar un algoritmo que realice un ruteo óptimo con un conjunto de datos en un grafo ha sido uno de los mayores retos planteado en la modernidad. La solución efectiva de este problema es muy importante ya que con esta se lograría un gran ahorro en tiempo, dinero, y una gran reducción en la emisión de gases, logrando así un mayor cuidado del medio ambiente y una mayor eficiencia en las empresas.

Los problemas más relevantes relacionados a este tienen que ver generalmente con encontrar la manera mas efectiva de recorrer un grafo para un fin determinado, ya sea encontrar un circuito Hamiltoniano, Euleriano, entre otros, En un tiempo relativamente corto.

La solución que planteamos fue basada en el vecino más próximo haciendo algunas modificaciones, los resultados son bastante buenos dado que se encontró una solución optima en un tiempo relativamente bueno.

## Palabras clave

Ruta, grafos, vehículos eléctricos, vecino más cercano.

## Palabras clave de la clasificación de la ACM

Theory of computation → Design and analysis of algorithms  
→ Graph algorithms analysis → Shortest paths

## 1. INTRODUCCIÓN →

A lo largo de la historia moderna se han diseñado numerosos algoritmos para recorrer un grafo, aunque algunos algoritmos son más eficientes que otros, no se ha encontrado uno que en un tiempo medianamente corto logre satisfacer las necesidades planteadas, ya que en el tiempo de ejecución son muy demorados. Generalmente se obtiene una respuesta buena y eficiente, pero no se comprueba que es la mejor. En este documento se plantea y se desarrolla un algoritmo que encuentra la ruta óptima para que un conjunto de camiones eléctricos visite un conjunto de clientes, para mejorar el servicio de una empresa.

## 2. PROBLEMA

El problema por resolver consiste en diseñar un algoritmo para encontrar las rutas óptimas para que un conjunto de camiones eléctricos visite un conjunto de clientes. La pregunta es la siguiente: Dado una lista de clientes ubicados en un mapa vial bidimensional, un depósito de inicio y fin, y unas restricciones de tiempo y energía ¿cuáles son las rutas para un número libre de camiones eléctricos, para visitar todos los clientes, minimizando el tiempo total, que

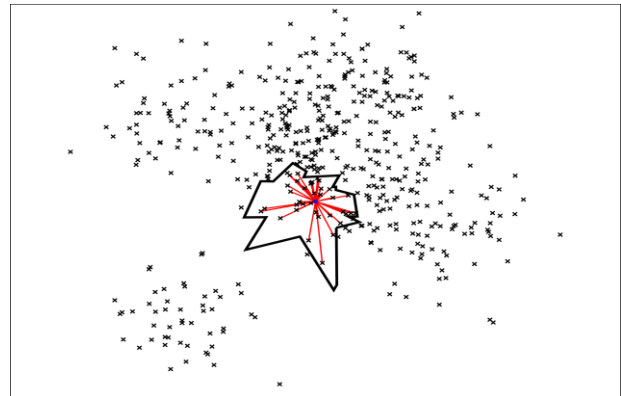
es la suma del tiempo del recorrido más el tiempo que toman las recargas de batería? [1]. Es importante resolver este problema ya que de esta manera estaríamos ahorrando tiempo, dinero y aportaríamos un mayor cuidado al medio ambiente por la reducción de las emisiones de gases, en la medida de que las compañías implementen algoritmo en sus rutas.

## 3. TRABAJOS RELACIONADOS

Este problema ha tenido varios intentos y formas de solucionarlo, con diferentes estrategias y formas heurísticas, pero aún no se ha encontrado la solución más óptima a este problema.

### 3.1 Vecino más próximo

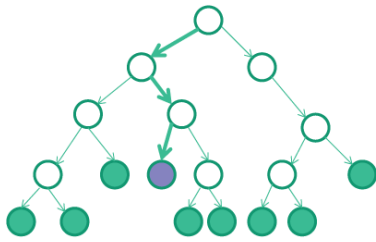
El Algoritmo del vecino más próximo [2] (NN por sus siglas en inglés) o también llamado algoritmo voraz (greedy) permite al viajante elegir la ciudad no visitada más cercana como próximo movimiento. Este algoritmo retorna rápidamente una ruta corta. Para N ciudades aleatoriamente distribuidas en un plano, el algoritmo en promedio retorna un camino de un 25% más largo que el menor camino posible. Sin embargo, existen muchos casos donde la distribución de las ciudades dada hace que el algoritmo NN devuelva el peor camino [3].



Gráfica 1. Ruta utilizando vecino más cercano

**3.2 Método de branch and bound.** El método de branch and bound (ramificación y poda), nos proporciona una solución óptima del problema del agente viajero, calculando mediante el algoritmo simplex la solución del modelo. A medida que aumenta el tamaño de la red el método puede tardar gran cantidad de tiempo en resolverse, sin embargo, para redes de mediano tamaño es una excelente alternativa.

## Branch-and-Bound



Each node in branch-and-bound is a new MIP

**Grafica 2.** Método de branch and bound.

### 3.3 Algoritmo Simplex

El Método Simplex [4] es un método iterativo que permite ir mejorando la solución en cada paso. La razón matemática de esta mejora radica en que el método consiste en caminar del vértice de un poliedro a un vértice vecino de manera que aumente o disminuya (según el contexto de la función objetivo, sea maximizar o minimizar), dado que el número de vértices que presenta un poliedro solución es finito siempre se hallará solución.

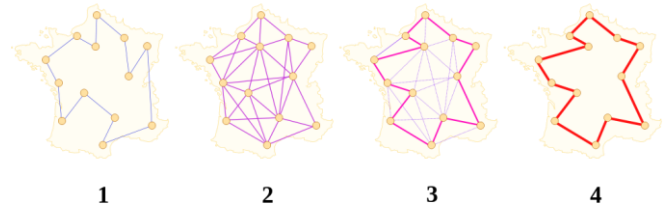
### 3.4 Método de fuerza bruta

El método de la fuerza bruta no implica la aplicación de ningún algoritmo sistemático, tan solo consiste en explorar todos los recorridos posibles. Es el menos óptimo y el más demorado de todos, debido a que al probar todas las posibilidades sin importar condiciones, ejecuta un sin número de acciones que ralentizan el proceso y lo pueden hacer casi infinito.

### 3.5 Optimización por colonia de hormigas

El investigador de Inteligencia artificial, Marco Dorigo describió en 1997 un método que genera heurísticamente “buenas soluciones” para el TSP usando una simulación de una colonia de hormigas llamada Ant Colony System (ACS).

ACS envía un gran número de hormigas (agentes virtuales) para explorar las posibles rutas en el mapa. Cada hormiga elige probabilísticamente la próxima ciudad a visitar basada en una heurística, combinando la distancia a la ciudad y la cantidad de feromonas depositadas en la arista hacia la ciudad. La hormiga exploradora, deposita feromonas en cada arista que ella cruce, hasta que complete todo el camino. En este punto la hormiga que completó el camino más corto deposita feromonas virtuales a lo largo de toda la ruta recorrida (actualización del camino global). La cantidad de feromonas depositadas es inversamente proporcional a la longitud del camino: el camino más corto, tiene más cantidad de feromonas.



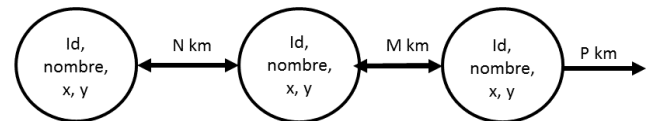
**Grafica 3.** Recorrido usando optimización de colonia de hormigas.

## 4. VECINO MAS CERCANO MODIFICADO

A continuación, explicamos la estructura de datos y el algoritmo.

### 4.1 Estructura de datos

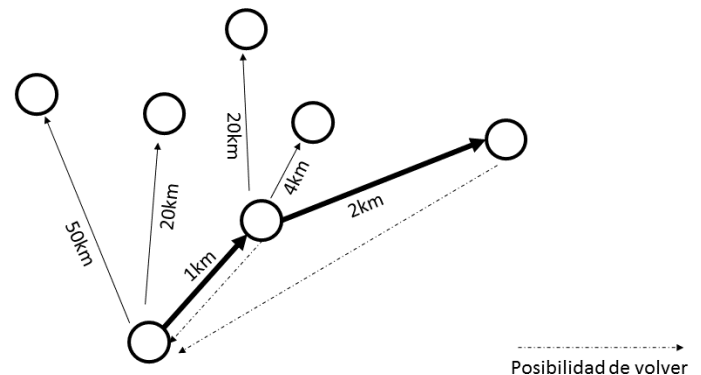
La estructura de datos que se maneja es un grafo basado en matrices de adyacencia, se eligió este modelo ya que de un nodo a se puede ir a todos los nodos b pertenecientes al grafo.



**Gráfica 4:** Nodos entrelazados entre si gráficamente, cada nodo contiene un identificador, un nombre, una posición en X y una posición en Y; se conoce el peso de los arcos entre todos los nodos.

### 4.2 Operaciones de la estructura de datos

Buscar vecino mas cercano con tiempo y batería:



**Gráfica 5:** Imagen donde se muestra la elección del vecino más cercano.

Diagrama de un árbol de decisión para un problema de optimización de rutas. El camino más corto está resaltado en negro. Se muestran distancias entre nodos y símbolos de rayos para indicar riesgos.

- Nodo inicial (círculo blanco) tiene una distancia de 50km a un nodo superior izquierdo.
- Nodo inicial tiene una distancia de 20km a un nodo superior.
- Nodo inicial tiene una distancia de 1km a un nodo central (círculo blanco).
- Nodo central tiene una distancia de 20km a un nodo superior.
- Nodo central tiene una distancia de 4km a un nodo superior derecho.
- Nodo central tiene una distancia de 2km a un nodo derecho (círculo blanco).
- Nodo derecho tiene una distancia de 10km a un símbolo de rayo superior.
- Nodo derecho tiene una distancia de 3km a un símbolo de rayo central.
- Nodo derecho tiene una distancia de 10km a un nodo inferior (círculo blanco).
- Nodo inferior tiene una distancia de 30km a un nodo final (círculo blanco).

El camino más corto, resaltado en negro, es: Inicio → 1km → Nodo central → 2km → Nodo derecho → 3km → Fin (símbolo de rayo).

Se muestran también líneas punteadas que conectan los nodos del camino más corto con los nodos de la rama inferior, indicando una alternativa o un camino no tomado.

Posibilidad de volver

### 4.3 Criterios de diseño de la estructura de datos

## 4.4 Análisis de Complejidad

Sub problema	complejidad	significado
Leer Txt	$O(n)$	n: numero de lineas
Crear Matriz de distancias	$O(n^2)$	n: numero de nodos
Vecino mas cercano	Promedio: $O(n^2)$ Peor: $O(n^3)$	
Imprimir solucion	$O(n*m)$	n: numero de rutas m: nodos en dicha ruta
Total	$O(n^2)$	n: numero de nodos

## 4.5 Algoritmo

#### 4.6 Cálculo de la complejidad del algoritmo

Tabla de complejidades		
Sub problema	complejidad	significado
Crear matriz de distancias	$O(n^2)$	n: numero de nodos
Vecino mas cercano	Promedio: $O(n^2)$ Peor: $O(n^3)$	
Distancia entre dos nodos	$O(1)$	
Agregar nodo a ruta	$O(1)$	
Agregar ruta	$O(1)$	
Total	$O(n^3)$	n: numero de nodos

#### 4.7 Criterios de diseño del algoritmo

Después de analizar diferentes soluciones al problema, nosotros concluimos que una solución basada en el vecino más cercano es una buena solución al problema de encontrar un óptimo ruteo para vehículos eléctricos en un mapa dado. Mientras se garantice que desde el depósito (Nodo inicial) se pueda ir a todos los nodos y volver al mismo, teniendo en cuenta la batería y el tiempo del recorrido, el algoritmo funciona eficientemente. Uno de los factores claves es que podemos acceder a la distancia entre dos nodos en complejidad de  $O(1)$ .

## 4.8 Tiempos de Ejecución

Tabla de consumo de tiempo		
DataSet	Descripcion	Tiempo (ms)
1	345 nodos	140,9
2	345 nodos	47,6
3	345 nodos	63,4
4	345 nodos	31,2
5	345 nodos	46,1
6	345 nodos	32,2
7	359 nodos	31,2
8	359 nodos	16,1
9	359 nodos	31,3
10	359 nodos	31,4
11	359 nodos	31,6
12	359 nodos	31,2
Total	12 archivos	534,2

**Tabla 3:** Tiempos de ejecución del algoritmo con diferentes conjuntos de datos

## 4.9 Memoria

Tabla de consumo de memoria		
DataSet	Descripcion	Memoria (Mb)
1	345 nodos	2,4
2	345 nodos	2,4
3	345 nodos	2,4
4	345 nodos	2,4
5	345 nodos	2,4
6	345 nodos	2,4
7	359 nodos	2,4
8	359 nodos	2,4
9	359 nodos	2,4
10	359 nodos	2,4
11	359 nodos	2,4
12	359 nodos	2,4
Total	12 archivos	28,8

**Tabla 4:** Consumo de memoria del algoritmo con diferentes conjuntos de datos

## 4.10 Análisis de los resultados

Tabla de consumo de memoria y tiempo			
DataSet	Descripcion	Memoria (Mb)	Tiempo (ms)
1	345 nodos	2,4	140,9
2	345 nodos	2,4	47,6
3	345 nodos	2,4	63,4
4	345 nodos	2,4	31,2
5	345 nodos	2,4	46,1
6	345 nodos	2,4	32,2
7	359 nodos	2,4	31,2
8	359 nodos	2,4	16,1
9	359 nodos	2,4	31,3
10	359 nodos	2,4	31,4
11	359 nodos	2,4	31,6
12	359 nodos	2,4	31,2
Total	12 archivos	28,8	534,2

**Tabla 5:** Análisis de los resultados obtenidos con la implementación del algoritmo

## 5. CONCLUSIONES

Para concluir, luego de analizar algunas estructuras de datos y ver la solución planteada vemos que la solución obtenida es óptima y en tiempo bueno: La ruta obtenida en la solución final, satisface los parámetros dados. Por otra parte, pudimos deducir que el cambio de factores tales como: el tiempo de carga, el nodo seleccionado para visitar, entre otros pueden cambiar la solución. Este proyecto tiene muchos enfoques ya que con pocas modificaciones se puede proyectar a empresas del medio local para hacer sus rutas comerciales óptimas.

### 5.1 Trabajos futuros

Lo que nos gustaría mejorar más en un futuro es la optimización del código e implementar métodos de búsqueda más rápidos, para así obtener menor consumo de memoria y de tiempo, y posiblemente una ruta más óptima.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue soportada parcialmente por el Icetex – Programa Ser Pilo Paga 3

## REFERENCIAS

- [1] Montoya A., Guérethttps C. [En línea] Disponible en: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01245232/document> [Accedido el 03 de marzo de 2018]
- [2] Wikipedia, El Problema del Viajante. [En línea] Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Problema\\_del\\_viajante](https://es.wikipedia.org/wiki/Problema_del_viajante) [Accedido el 03 de marzo de 2018]
- [3] Ingeniería Industrial Online, El Problema del Agente Viajero-TSP. [En línea] Disponible en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/problema-del-agente-viajero-tsp/> [Accedido el 03 de marzo de 2018]
- [4] Ingeniería Industrial Online, El Método Simplex. [En línea] Disponible en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/m%C3%A9todo-simplex/> [Accedido el 03 de marzo de 2018]