

## Algoritmo para ruteo de vehículos eléctricos

**Autor: Mauricio Toro**

### Consideraciones iniciales



Trabajo **en**  
**parejas**



Puntuación extra si  
lo escriben y  
sustentan en  
**inglés**



Usar **plantilla**  
**ACM**



Entregar informe  
en **PDF** y código  
en **GIT**



Informe  
**máximo en 4**  
**páginas**



Detalles completos  
en “**Guía para la**  
**realización del**  
**proyecto final**”

## Porcentajes y criterios de evaluación para el proyecto

- 1. Criterios de diseño algoritmo
- 2. Complejidad del algoritmo
- 3. Alternativas de solución
- 4. Criterios de Fondo para Código
- 5. Criterios de diseño estructura datos
- 6. Reporte ArXiv
- 7. Criterios de forma código
- 8. Progreso Gradual
- 9. Diapositivas

## Tiempos de entrega en semanas académicas



## Rúbricas de calificación

Lean la Sección 9 de la “*Guía para la realización del proyecto final de Estructuras de Datos 2*”

DOCENTE [MAURICIO TORO BERMÚDEZ](#)  
Teléfono: (+57) (4) 261 95 00 Ext. 9473. Oficina: 19 - 627  
Correo: [mtorobe@eafit.edu.co](mailto:mtorobe@eafit.edu.co)

**INSUMOS****ENTREGAS****Intercambio de archivos****1. Motivación**

Los vehículos eléctricos son una de las tecnologías más promisorias para reducir la dependencia del petróleo y las emisiones de gases invernadero. El uso de vehículos eléctricos para carga y para el transporte de pasajeros tiene una limitación: El rango de conducción es limitado y el tiempo de carga de la batería es relativamente alto. Por esta razón, es necesario considerar que los vehículos se desvíen de la ruta para ir a estaciones donde puedan recargar su batería (Tomado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01245232/document>).

## 2. Problema

El problema a resolver consiste en **diseñar un algoritmo** para encontrar las rutas óptimas para que un conjunto de vehículos eléctricos reparta mercancía a un conjunto de clientes. Dado

- una lista de clientes ubicados en un mapa vial bidimensional,
- un depósito de inicio y fin,
- un conjunto de paquetes
- y las restricciones:
  - la autonomía de la batería
  - la duración máxima de una ruta
  - los recorridos son en línea recta entre cliente y cliente
  - un número ilimitado de camiones
  - los vehículos avanzan a velocidad constante
  - la función de carga de la batería es lineal
  - se permite carga parcial de la batería
- ¿Cuáles son las rutas para una flota de vehículos eléctricos, para visitar todos los clientes de una empresa, minimizando el tiempo total? El tiempo total es la suma del tiempo del recorrido, el tiempo de visitar a los clientes y el tiempo que toman las recargas de batería.

## 3. Evaluación de la solución

- La implementación del *debe entregar una respuesta en máximo 30 segundos para cada uno de los conjuntos de datos.*
- *Parte de la calificación dependerá del tiempo total que su algoritmo calcule para un conjunto de datos con el mismo formato que el que se entrega adjunto.*

DOCENTE [MAURICIO TORO BERMÚDEZ](#)

Teléfono: (+57) (4) 261 95 00 Ext. 9473. Oficina: 19 - 627

Correo: [mtorobe@eafit.edu.co](mailto:mtorobe@eafit.edu.co)

## 4. Formalización matemática

### 4.1 Descripción del problema

Sea  $I$  el conjunto de nodos que representan los clientes,  $F$  el conjunto de estaciones de carga, y  $0$  el nodo que representa el depósito. Cada cliente  $i \in I$  tiene el mismo tiempo de servicio  $p_i$ . El problema está definido sobre un grafo completo no dirigido  $g = (V, E)$ , donde  $V = \{0\} \cup I \cup F$  y  $E = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$  el conjunto de arcos que conectan los vértices de  $V$ . Cada arco  $(i, j)$  tiene asociado dos valores no negativos: el tiempo de viaje  $t_{ij}$  y una distancia  $d_{ij}$ , donde  $t_{ij} = d_{ij}/v$  y  $v$  es la velocidad a la que se mueven los vehículos, que se asume constante. Los clientes son visitados con una flota ilimitada de vehículos eléctricos con una tasa de consumo constante  $cr$  (expresada en Wh/km). Todos los vehículos tienen una batería con capacidad  $Q$  (expresada en Wh) y una duración máxima para el ciclo del recorrido  $T_{max}$ . Se asume que los vehículos parten del depósito con la batería totalmente cargada y que todas las estaciones de carga pueden manejar un número ilimitado de vehículos simultáneamente.

El objetivo del problema es encontrar un conjunto de rutas con un tiempo total mínimo, definido como la suma de los tiempos de viaje y los tiempos de recarga, satisfaciendo las siguientes condiciones: cada cliente se visita exactamente una vez; el nivel de batería cuando un vehículo llega a un vértice es no negativo; cada ruta satisface el tiempo de duración máximo  $T_{max}$ ; y cada ruta empieza y termina en el depósito.

### 4.2 Formalización de la función de carga

Cada estación de carga  $i \in F$  tiene un modo de carga (lento, medio o rápido), que está asociado con una función de carga  $g_i(q_i, \Delta_i)$ . Esta función mapea el nivel de carga cuando el vehículo llega a  $i$  ( $q_i$ ), y el tiempo que pasa cargando en  $i$  ( $\Delta_i$ ) al nivel de carga que el vehículo tiene cuando parte de  $i$ . En este problema se asume que la función de carga es lineal. Es decir, la función de carga es  $gl_i$  y es una línea recta desde  $(0, 0)$  hasta  $(q_n, \Delta_n)$  donde  $n$  es el último punto de soporte de la función  $g_i$ . La Gráfica 1 muestra un ejemplo de función  $g_i$  y la función  $gl_i$ .

## 5. Variables del conjunto de datos

Todos los conjuntos de datos están propuestos para ser servidos por una flota de *Peugeot Ion*. Las variables tienen el siguiente significado

n	Número de total de nodos
m	Número de clientes
u	Número de estaciones de carga
breaks	Número de puntos de soporte de la función de la carga de la batería
r	Tasa de consumo en watts hora por kilómetro
speed	Velocidad en kilómetros por hora
Tmax	Tiempo máximo de duración de la ruta de un vehículo en horas
Smax	Tiempo máximo de carga en horas en la estación más lenta
St_customer	Tiempo en horas que se demora visitando un cliente
Q	Capacidad de la batería en watts hora
Coordinates	
Ejemplo: 3 s0 82.04 37.54 s 1	Id del nodo, nombre del nodo, coordenada en x, coordenada en y, tipo de nodo, tipo de estación
Tipo de nodo	c cliente, d depósito y s estación
Tipo de estación	0 rápido, 1 media y 2 lenta
l	Tiempo de carga en horas para cada tipo de estación y para cada punto de soporte
g	Nivel de la batería en watts hora para cada tipo de estación y para cada punto de soporte

DOCENTE [MAURICIO TORO BERMÚDEZ](#)

Teléfono: (+57) (4) 261 95 00 Ext. 9473. Oficina: 19 - 627

Correo: [mtorobe@eafit.edu.co](mailto:mtorobe@eafit.edu.co)

## 6. Ejemplo de entrada y salida

La Gráfica 2 muestra una presentación de este ejemplo.

### Entrada:

n = 5  
m = 2  
u = 2  
breaks = 4  
r = 125.0  
speed = 40.0  
Tmax = 10.0  
Smax = 2.04  
st\_customer = 0.5  
Q = 16000.0

### Coordinates

0 depot 45.35 5.63 d 0  
1 c0 6.01 9.52 c 0  
2 c1 10.01 9.52 c 0  
3 s0 82.04 37.54 s 1  
4 s1 18.29 102.2 s 0

|

0 0.31 0.39 0.51  
0 0.62 0.77 1.01  
0 1.26 1.54 2.04

g

0 13600 15200 16000  
0 13600 15200 16000  
0 13600 15200 16000

### Salida:

[[{0,0.00}, {1,0.5}, {4,0.30}, {3,0.74}, {0,0.00}], [{0,0.00}, {4,0.23}, {3,0.74}, {2,0.5}, {0,0.00}]]

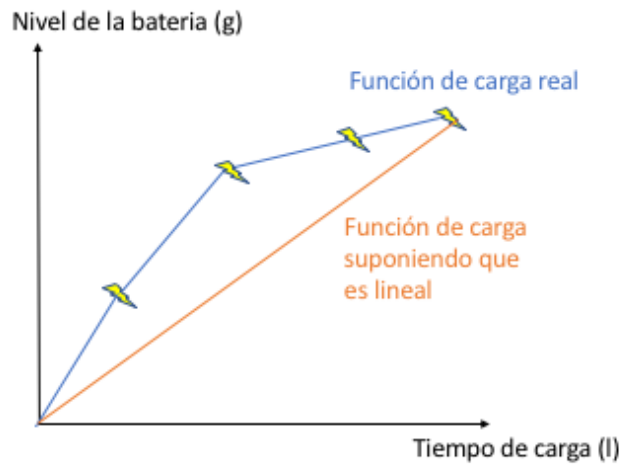
Cada ruta va entre corchetes [ ].

Cada nodo visitada es una pareja {id, tiempo en horas con dos decimales}.

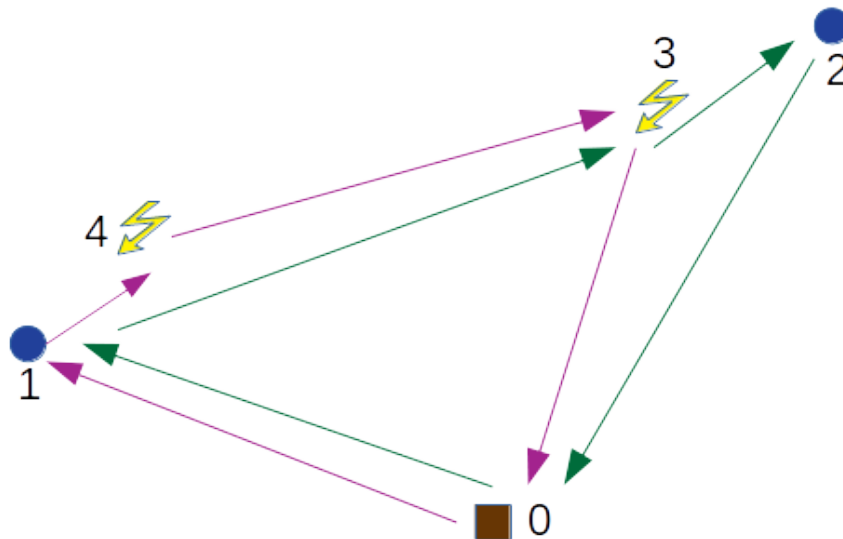
DOCENTE [MAURICIO TORO BERMÚDEZ](#)

Teléfono: (+57) (4) 261 95 00 Ext. 9473. Oficina: 19 - 627

Correo: [mtorobe@eafit.edu.co](mailto:mtorobe@eafit.edu.co)



**Gráfica 1.** Interpretación de una línea de  $l$  y  $g$ . Cada línea representa la función de carga de un tipo de estación. Hay 3 líneas porque hay 3 tipos de estación: rápida, media y lenta.



**Gráfica 2.** Ejemplo con 5 nodos. El nodo 0 es el depósito. Los nodos 1 y 2 son los clientes. Los nodos 3 y 4 son las estaciones de carga. La primera ruta aparece en verde; la segunda en violeta.



## 7. Alguna documentación relacionada

Para obtener información relacionada al problema, se sugiere ver la siguiente documentación:

- ☑ R.C.T Lee et al., Introduccion al analisis y diseño de algoritmos. Página 5, página 8, página 176, página 395.
- ☑ Anany Levitin, Design and Analysis of Algorithms. Página 116, página 438, página 443
- ☑ <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516000089>
- ☑ <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01245232/document>
- ☑ [https://www.researchgate.net/publication/37428444\\_Decision-Aid-ing\\_Methodology\\_for\\_the\\_School\\_Bus\\_Routing\\_and\\_Scheduling\\_Problem](https://www.researchgate.net/publication/37428444_Decision-Aid-ing_Methodology_for_the_School_Bus_Routing_and_Scheduling_Problem)
- ☑ [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6940973&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D6940973](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6940973&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6940973)
- ☑ [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372012000100015](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372012000100015)
- ☑ [https://www.researchgate.net/publication/221704651\\_The\\_Multi-Trip\\_Vehicle\\_Routing\\_Problem](https://www.researchgate.net/publication/221704651_The_Multi-Trip_Vehicle_Routing_Problem)