

# Modelamiento de Autos Eléctricos, Puntos de Carga y Conexión con la Red.

## Integrantes:

Santiago Buitrago, Sebastián Bernal, Luceth Argote, Juan José Ruiz

producto [1]. En Colombia para el año 2021 las unidades de autos eléctricos e híbridos vendidos están por encima de 17.000, siendo superior al doble del capital registrado en 2020 [3].

## ABSTRACT

This article presents successful solutions to two key challenges in the integration of electric vehicles (EVs) and IoT: the minimum route problem for EV routing and network optimization. The proposed model considers technological advancements and IoT adoption, accommodating a large number of devices. The Ant Colony Optimization (ACO) algorithm proves efficient even with numerous vehicles, iterations, and charging stations. ACO outperforms the Dijkstra algorithm in terms of computational complexity, providing faster convergence with a single main iteration compared to the latter's requirement of multiple iterations. The network-related issue is addressed through a cost function that accurately models crucial parameters affecting quality of service. Although Dijkstra's algorithm incurs high computational costs, it functions effectively for the network size considered. For larger networks, a cloud-based routing model is recommended. This research contributes to the field by showcasing effective EV routing and network optimization strategies within the IoT framework, with implications for scalability and future deployments.

Key words: Electric vehicles (EVs), Internet of Things (IoT) Urban development

## INTRODUCCIÓN

La integración de millones de dispositivos en cualquier momento y lugar es un reto para el desarrollo urbano actual y futuro planteado por las arquitecturas IoT ("Internet of Things"). El gran avance de la industria automotriz está fuertemente relacionado con el progreso de las intercomunicaciones. Los autos eléctricos suponen un cambio drástico en el transporte sostenible y la conectividad. Por ejemplo, el monitoreo de condiciones de ruta y reporte de anomalías son aplicaciones de las redes IoT en el transporte público y privado. En 2016 se lanzó al mercado el primer automóvil basado en IoT a gran escala: el Toyota Mirai; desde entonces, alrededor de 250 millones de automóviles equipados con IoT circularon en 2020 y el mercado de los dispositivos IoT pasó de \$20 billones a \$100 billones en 2023. [5]

Tesla actualmente es una de las compañías de tecnología más grandes del mundo, su principal fuente de ingreso son los automóviles eléctricos. Para el 2021 aproximadamente el 84% de todo el flujo de ingresos de la empresa se deben a este

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para soportar la demanda creciente de autos eléctricos las ciudades deben disponer de dos servicios principales que son modelados en esta investigación: estaciones de carga y antenas 4/5G. De acuerdo con lo anterior surgen las siguientes preguntas: ¿dónde ubicar las estaciones de carga y las antenas 4/5G para cubrir a todos los autos de manera óptima? ¿cuál es la ruta óptima que cada carro debe seguir hacia una estación de carga teniendo en cuenta la disponibilidad? Así, se busca construir un modelo sobre la ciudad de Bogotá empleando la teoría de grafos.

Las restricciones para este modelo son las siguientes:

1. Un auto comparte arista con estaciones de carga cercanas.
2. Una estación de carga comparte una arista con una antena.
3. Una antena comparte arista con un servidor.

Empleando la teoría de grafos el objetivo general es: desarrollar un modelo óptimo en el cual los autos carguen su batería sin sobrecargar la capacidad por estación de carga y sin perder conexión con la red.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Trazar la ruta óptima para cargar el auto en el menor tiempo y distancia posible.
- Priorizar cada auto según la necesidad de carga.
- Guardar variables como porcentaje de batería y kilometraje del auto, y congestión en la estación.

## METODOLOGÍA

En primer lugar, se abordan los trabajos relacionados y las herramientas matemáticas dentro de la teoría de grafos. Se construyen dos grafos de ponderación dinámica: el grafo de red (Gr) con conjunto de vértices ( $N_r$ ) y conjunto de aristas ( $E_r$ ) y el grafo de transporte (Gt) con conjunto de vértices ( $N_t$ ) y conjunto de aristas ( $E_t$ ). Se analiza el algoritmo de Dijkstra enfocado en la calidad de servicio (QoS) para representar el problema de ruta mínima.

En segundo lugar, para ubicar las antenas se considera el radio de alcance y el ancho de banda para asegurar el cubrimiento de la zona. En cuanto a las estaciones de carga se divide la ciudad

en cuadrantes y se realiza un árbol de expansión sobre las principales vías de la ciudad.

Para modelar el sistema se emplea el lenguaje de programación de Python para construir los objetos: auto, antena, estación\_carga, grafo\_transporte, grafo\_red. Además, se implementa la función de costo que asigna pesos a las aristas y el algoritmo de Dijkstra. Los datos de distancia recorrida, carga y capacidad residual se almacenan en una base de datos SQL. Se utiliza Packet Tracer para representar la red y comparar la eficiencia de la implementación. Finalmente se concluye la investigación.

### MARCO TEÓRICO

Los grafos de ponderación dinámica son una herramienta matemática utilizada en la teoría de grafos para modelar relaciones entre objetos o entidades. A diferencia de los grafos estáticos, en los que las conexiones entre los nodos se mantienen constantes, los grafos de ponderación dinámica permiten que las conexiones cambien con el tiempo.

En un grafo de ponderación dinámica, cada nodo representa un objeto o entidad, y cada arista representa una relación entre dos objetos. Cada arista tiene un peso o valor asignado que indica la fuerza de la relación entre los dos nodos conectados.

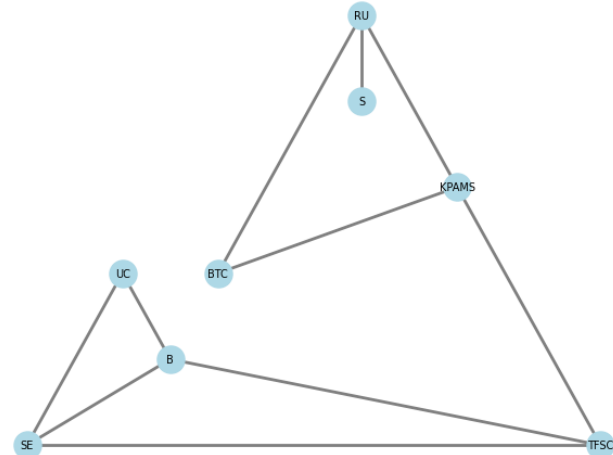
### MODELAMIENTO

Los grafos dinámicos son especialmente útiles para modelar la relación entre autos y estaciones de carga o antenas 4/5G en una ciudad.

Con lo cual los autos son vértices de ubicación variable a lo largo de la ciudad y, tanto las estaciones de carga como las antenas son vértices estáticos. De esta manera, se conforman dos grafos de ponderación dinámica. Para el primer caso, las aristas representan las calles y los distintos pesos son calculados a partir de la disponibilidad de cada estación. Para el segundo grafo, las aristas son los enlaces a cada antena con su respectiva ponderación dada por los criterios de calidad de servicio. Para determinar la ubicación óptima de las estaciones de carga y antenas 4/5G, se pueden utilizar algoritmos de optimización que buscan minimizar la distancia total recorrida por los vehículos eléctricos y maximizar la cobertura de la red de antenas 4/5G. Estos algoritmos pueden incorporar restricciones adicionales, como la capacidad máxima de las estaciones de carga y la distancia que un vehículo eléctrico debe recorrer.

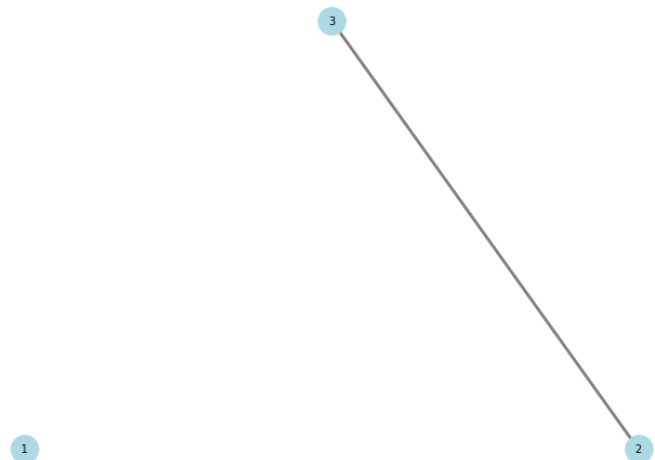
Ubicación de las antenas de red:

En Bogotá existen 20 localidades, de las cuales 19 son urbanas y una rural. Para solventar la conexión de los dispositivos móviles alrededor de toda la ciudad se agrupan localidades y se asignan antenas y estaciones de carga a cada agrupación.



Antenas por localidad.

Se identifican tres focos de conexión identificados por las caras de la representación plana. Se construye el grafo dual para analizar la relación entre los focos.



En el grafo Dual es posible evidenciar la conexión presente entre los focos de red compuestos por las antenas: TFSC, B, UC, SE; y como la conexión de antenas: RU, S, KPAMS, BTC solo tiene un enlace a los otros dos focos. Por medio de esta solución, se asegura la conexión desde todas partes de la ciudad.

### DISCUSIÓN

Entre los algoritmos a considerar para implementar el modelo existen dos principales: el algoritmo de Dijkstra y el algoritmo basado en la colonia de hormigas.

Algoritmos de red: Se comparan cinco algoritmos de red; Algoritmo de Dijkstra orientado a la conexión de red basado en la teoría de grafos, RSS basado en el traspaso, RSS ancho de banda basado en el traspaso y RSS traspaso basado en la función de costo.

RSS basado en el traspaso: enrutamiento con función de costo determinada por la fuerza de la señal recibida por el enlace e.

RSS ancho de banda basado en el traspaso: Algoritmo orientado a la maximización del aprovechamiento de enlace. A gran escala, no maneja adecuadamente el flujo.

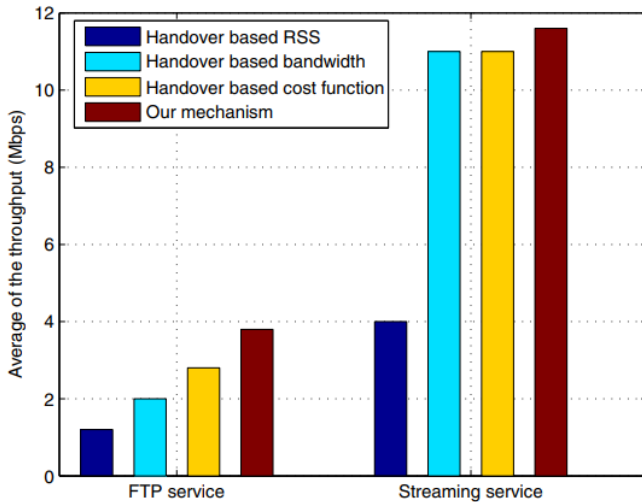
RSS basado en la función de costo: La función de costo determina el costo de enlace asignando:

$$C(e) = \alpha(1 - P_{JTe} DTe) + \beta(1 - AB_{Te} DTe), \quad \alpha = \beta = 0.5$$

Siempre que:

- Dte, Jte son las distancias entre el dispositivo móvil y el punto de acceso.

En investigaciones anteriores se comparan experimentalmente los algoritmos modelando el comportamiento al soportar servicios FTP y de Streaming. Los Resultados son los siguientes:



Throughput (Mb/s) servicios FTP y Streaming. Imagen tomada de: [6]

En esta investigación se emplea el algoritmo de Dijkstra combinando factores de los algoritmos anteriores para la función de costo.

#### ALGORITMO DE DIJKSTRA

Teniendo en cuenta el problema de ruta mínima orientado a la aplicación en el modelo de red, es necesario construir unareinvestigación se toman criterios basados en QoS entre los cuales se consideran:

- Ancho de banda disponible: (AB)
- Pérdida de paquetes (PL)
- Retraso del paquete (PD)

Estos valores son medidos del modelo de red en Packet Tracer. Luego, se conforma la función de costo [6]:

$$C(er) = \frac{1}{AB} + PL + PD$$

Una vez se han determinado los pesos de cada arista se construye la tabla de enrutamiento para cada antenna 4/5 G empleando el algoritmo de Dijkstra.

El origen S está dado por cada antenna en el grafo.

Un vértice es marcado si ya se ha determinado la ruta mínima desde el origen.

Se denota  $c_i$  al costo del enlace (S, i)

Inicialización:

Sea R el conjunto de vértices marcados,  $R = \{ \}$

Para todo i en los vértices adyacentes a S,  $c_i = \infty$ ,  $c_s = 0$ .

Iteración:

Mientras  $|R| < |N|$ :

- Selecione un vértice  $i \notin R$ ,  $c_i$  mínimo
- $R = R \cup \{i\}$
- Para todo  $v \notin R$ 
  - $c_v = \min\{c_v, c_i + c_{iv}\}$

Enrutamiento físico:

Para dar solución al problema de direccionamiento se consideran dos algoritmos principales: Dijkstra y AOC. Puesto que las estaciones de carga se reparten alrededor de toda la ciudad de Bogotá de manera que si se quisiera emplear Dijkstra se realizan  $n =$  número de estaciones iteraciones del algoritmo. Es por esto por lo que, se busca una alternativa con mayor escalabilidad con el objetivo de promover una correcta adaptabilidad al desarrollo urbano. El algoritmo AOC (Algoritmo basado en la colonia de hormigas) genera una búsqueda en forma de árbol de expansión aleatoriamente comparando los distintos caminos y los pesos entre ellos. Por ende, en una iteración principal se concluye la ruta mínima.

#### ALGORITMO BASADO EN LA COLONIA DE HORMIGAS

El origen está dado por la ubicación U del carro que necesita cargarse.

Se denota  $d_{a,b}$  a la distancia en kilómetros entre los nodos a y b.

Además  $p_{a,b}$  el peso de la arista (a,b)

La ubicación de las estaciones de carga compone el conjunto E. Sea C un u-r camino con conjunto de aristas E(C) y e(c) número de aristas. Y sea v un vértice tal que:  $v \in E$ .

Inicialización:

Sean n hormigas con número de feromonas a = 100;

Iteración:

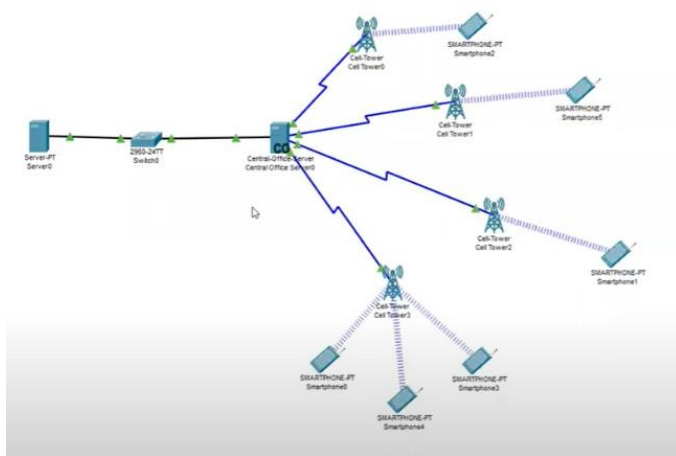
Para cada hormiga h:

- $C_h = \emptyset, e(c)_h = 0$
- Seleccione un vértice i adyacente a U aleatoriamente
- $C = u - i$  camino
- Mientras  $C \neq u - v$  camino
  - Seleccione un vértice j adyacente a i aleatoriamente
  - Concatenar,  $C_h = u - i - j$  camino
  - $i = j$
  - $e(c)_h += 1$
- Para cada arista  $(a, b) \in E(c_h)$ 
  - asignar  $p_{a,b} = \frac{1}{d_{a,b}} \times \frac{100}{e(c_h)}$
- Retornar el camino en donde se maximice:  $\sum p_{a,b}$

## IMPLEMENTACIÓN

En Python se construyen las clases: auto, flota, enrutador, servidor, antenas, estación\_carga y estaciones. Los constructores de flota, antenas y estaciones generan listas de autos, servidores y estaciones de carga a partir de cantidades iniciales arbitrarias. Esto, puesto que el objetivo es construir un modelo adaptable y escalable a grandes cantidades de elementos.

En packet tracer se realizó el modelo de red con los objetos de antenas, switches, dispositivos móviles y dos servidores centrales. La red se compone de ocho sub-redes, una por cada antena. Se estableció que cuando se tienen antenas dentro de la misma macro-localidad estas están conectadas vía alámbrica entre sí. Además, se conectan inalámbricamente con las estaciones de carga y los autos.



Los algoritmos de enrutamiento fueron implementados como métodos de los objetos auto y enrutador.

La función de costo de enlace para el grafo de red analiza si el enlace es alámbrico o inalámbrico y asigna los siguientes valores:

Para los enlaces alámbricos

- $AB = 1000$  mbps
- $PL < 5\%$

- $PD \approx 0$

Y para los enlaces inalámbricos

- $100 \leq AB \leq 600$  mbps
- $3\% \leq PL \leq 7\%$
- $1 \leq PL \leq 20$  ms

Hipervínculo de la implementación en Python:

[https://colab.research.google.com/drive/1\\_tBpKFL6eqzhzi00LNGr0Jy201-b2Yqj?usp=sharing](https://colab.research.google.com/drive/1_tBpKFL6eqzhzi00LNGr0Jy201-b2Yqj?usp=sharing)

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Por medio del algoritmo AOC, dadas las ubicaciones de las estaciones de carga es posible retornar la ruta mínima hacia alguna de las estaciones empleando hasta 100 iteraciones y 1000 autos. En cuanto al modelo de red, Dijkstra retorna la tabla de enrutamiento con costo por enlace para cada enrutador en el modelo.

La ruta mínima se presenta en el primer problema para tres autos de como a continuación:

```
[ 'Tunjuelito', 'Puente Aranda', 'Santa Fe' ]
[ 'Teusaquillo', 'Engativa' ]
Martires
```

## Conclusiones

El problema de ruta mínima para el direccionamiento de autos eléctricos fue resuelto correctamente. El modelo tiene en cuenta el desarrollo tecnológico y la adopción progresiva de IOT ya que admite un gran número de dispositivos móviles a gran nivel de profundidad según sea requerido. El algoritmo AOC es eficiente incluso con gran número de autos, iteraciones (hormigas) y estaciones de carga. A comparación con el algoritmo de Dijkstra para direccionamiento, AOC es de orden menor ya que en solo una iteración principal concluye, cuando en el primer caso son necesarias n iteraciones, una para cada estación de carga destino.

El problema de red también fue resuelto satisfactoriamente ya que la función de costo modela adecuadamente tres de los principales parámetros que afectan la calidad de servicio en una red de computadores. Dijkstra fue implementado correctamente y aunque tiene un gran costo computacional, para el tamaño de la red funciona correctamente. En caso de una red mucho más grande se sugiere implementar un modelo a gran escala de enrutamiento en la nube.

## Referencias

- [1] A. Orús. "Tesla: ingresos mundiales por segmento 2020-2021 | Statista". Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/1271881/ingresos-de-tesla-por-segmento/> (accedido el 25 de febrero de 2023).
- [2] Forbes. "Tesla: A History Of Innovation (and Headaches)". Forbes. <https://www.forbes.com/sites/qai/2022/09/29/tesla-a-history-of-innovation-and-headaches/?sh=6460a1bf1873> (accedido el 25 de febrero de 2023).
- [3] Statista Research Department. "Venta de vehículos eléctricos e híbridos en Colombia 2021 | Statista". Statista.

<https://es.statista.com/estadisticas/1134824/volumen-ventas-vehiculos-electricos-hibridos-colombia/#statisticContainer> (accedido el 26 de febrero de 2023).

- [4] A. Verbel De Leon. "Grafos dinámicos – Python". Mi Camino Master. <http://micaminomaster.com.co/grafos-algoritmo/grafos-dinamicos-python/#:~:text=Los%20grafos%20dinámicos%20son%20aquellos,cómo%20se%20comportan%20sus%20componentes.> (accedido el 24 de febrero de 2023).
- [5] Pourrahmani, H. & ... The applications of Internet of Things in the automotive industry: A review of the batteries, fuel cells, and engines. Internet of things. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100579>
- [6] Lahby, M. & Sekkaki, A. A Graph Theory Based Network Selection Algorithm In Heterogeneous Wireless Networks. IEEE. {
- [7] Peter Makeen, Saim Memon, M. A. Elkasrawy, Sameh O. Abdullatif & Hani A. Ghali (2022) Smart green charging scheme of centralized electric vehicle stations, International Journal of Green Energy, 19:5, 490-498, DOI: 10.1080/15435075.2021.1947822
- [8] Cristian David Cadena Zarate, Juan Caballero, Hugo Andres Rojas Perez, Javier Solano & Oscar Arnulfo Quiroga (2022) Python-PowerFactory co-simulation for the optimal location of electric vehicle charging stations, International Journal of Ambient Energy, 43:1, 7541-7547, DOI: 10.1080/01430750.2022.2068060
- [9] Penelope Renaud-Blondeau, Genevieve Boisjoly, Hanane Dagdougui & Sylvia Y. He (2022): Powering the transition: Public charging stations and electric vehicle adoption in Montreal, Canada, International Journal of Sustainable Transportation, DOI: 10.1080/15568318.2022.2152403
- [10] : Diego A. Giménez-Gaydou, Anabela S. N. Ribeiro, Javier Gutiérrez & António Pais Antunes (2016) Optimal location of battery electric vehicle charging stations in urban areas: A new approach, International Journal of Sustainable Transportation, 10:5, 393-405, DOI: 10.1080/15568318.2014.961620