

# Analysis of the location criteria used for an optimal location of charging stations for electric cars through ArcGIS

Angie Ataucuri, Bachelor in Civil Engineering<sup>1</sup>, Brenny Panduro, Bachelor in Civil Engineering<sup>2</sup>, and Fernando Castro, D. Sc.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201816795@upc.edu.pe, u201811450@upc.edu.pe, pccifcas@upc.edu.pe

*Abstract– The location and capacity of charging stations influence the growth of the electric vehicle industry, since they offer users adequate station locations that consider the shortest distance traveled and maximum service capacity. For this reason, in this article a comparative analysis of location criteria is carried out through ArcGIS, so that, through its parameters obtained as maximum travel distance, minimum travel distance and load capacity, these data can be compared and determine what is the optimal criteria to use. Likewise, a case study is developed in a city with an area of 9.62 km to validate that the chosen criterion is the most appropriate for an optimal location of charging stations for*

*electric vehicles. Finally, when the analysis and interpretation of the results obtained is carried out, it is determined that the maximum capacitated coverage criterion is adequate for an optimal location of charging stations since it presents a minimum travel time, waiting time and recharging time in comparison with other criteria.*

*Keywords– Charging station, location criteria, minimum impedance, maximum capacitated coverage, electric vehicle, GIS.*

Digital Object Identifier:  
ISSN, ISBN:  
DO NOT REMOVE

# Análisis de los criterios de ubicación empleados para una óptima localización de estaciones de carga para autos eléctricos a través del ArcGIS

Angie Ataucuri, Bachelor in Civil Engineering<sup>1</sup>, Brenny Panduro, Bachelor in Civil Engineering<sup>2</sup>, and Fernando Castro, D. Sc.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, [u201816795@upc.edu.pe](mailto:u201816795@upc.edu.pe), [u201811450@upc.edu.pe](mailto:u201811450@upc.edu.pe), [pccifcas@upc.edu.pe](mailto:pccifcas@upc.edu.pe)

**Resumen—** La ubicación y capacidad de las estaciones de carga influyen en el incremento de la industria de vehículos eléctricos, ya que ofrecen a los usuarios adecuadas ubicaciones de estaciones que consideren la menor distancia recorrida y capacidad máxima de atención. Por ello, en este artículo se realiza un análisis comparativo de criterios de ubicación a través del ArcGIS, para que, a través de sus parámetros obtenidos como distancia máxima de recorrido, distancia mínima de recorrido y capacidad de carga, se pueda comparar estos datos y determinar cuál es el criterio óptimo para emplear. Asimismo, se desarrolla un caso de estudio en una ciudad con un área de 9.62 Km para validar que el criterio elegido es el más adecuado para una óptima localización de estaciones de carga para vehículos eléctricos. Finalmente, cuando se realiza el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se determina que el criterio de máxima cobertura capacitada es el adecuado para una óptima localización de estaciones de carga ya que presenta un mínimo tiempo de viaje, tiempo de espera y tiempo de recarga en comparación con otros criterios.

**Palabras claves—** Estación de carga, criterios de ubicación, mínima impedancia, máxima cobertura capacitada, vehículo eléctrico, GIS

## I. INTRODUCCIÓN

El transporte es parte esencial en la vida de todos y es lo que nos permite movilizarnos a diferentes lugares. Sin embargo, el uso excesivo de vehículos con combustibles fósiles son una de las principales causas del calentamiento global. En comparación con los vehículos convencionales, el uso de vehículos eléctricos (EV) está creciendo debido a las mejoras tecnológicas, la preocupación por la volatilidad de los precios del petróleo y el mayor interés por el uso de las energías renovables respetuosas con el medio ambiente. Los gobiernos a nivel internacional han adoptado diversas medidas para promover el uso de vehículos eléctricos. Sin embargo, la tasa de penetración en el mercado automotriz depende de varios factores, incluido el principal obstáculo que son el número limitado de estaciones de carga para EV. Además, la equidad también es un factor importante ya que garantiza que

las estaciones de carga para vehículos eléctricos estén extendidas y disponibles para todos los segmentos de la población. Asimismo, Shahab et al. [1] indica que es importante desarrollar un marco de optimización con una gestión óptima de estaciones de carga que permitan tener en cuenta la trayectoria del viaje del conductor, así como el tiempo que emplea para acudir a recargar su vehículo. Por ello para establecer una red de estaciones de carga para EV no solo se debe tener en cuenta los criterios de ubicación para una adecuada distribución, sino también se debe conocer la demanda de carga de los usuarios, el número y ubicación de las estaciones. Toda la información mencionada y recopilada anteriormente permitirá atender a los potenciales usuarios de los vehículos eléctricos, y ello facilitará la difusión de los EVs y disminuirá la ansiedad de los usuarios por la autonomía del vehículo.

En este artículo, se presenta un análisis comparativo de los criterios de ubicación a través del GIS; que permite determinar ubicaciones óptimas para la red de estaciones de carga para autos eléctricos. Se desarrolla un caso de estudio en una ciudad con un área de 9.62 km<sup>2</sup>, de donde se obtiene los diseños de ubicación de las estaciones de carga en el GIS. A partir de ello, se realiza un análisis a detalle de los principales parámetros influyentes en cada criterio de ubicación que permiten ubicar de forma óptima las estaciones de carga para autos eléctricos. A través de este análisis se debe determinar qué criterio es el adecuado para establecer una red de infraestructura de estaciones de carga para EV y se presentan las conclusiones del caso de estudio y la investigación realizada.

## II. ESTADO DEL ARTE

Existen diversos estudios sobre la carga de autos eléctricos y en su mayoría estos se centran en el desarrollo de la infraestructura de estaciones de carga. A lo largo de la planificación de la infraestructura, se debe considerar los diversos criterios de ubicación para la localización de las estaciones.

Por ejemplo, Iravani [2] propone una metodología que tiene dos niveles, el primero soluciona el problema de

Digital Object Identifier:  
ISSN, ISBN:  
DO NOT REMOVE

ubicación de cobertura establecida (SCLP) a través de la determinación de un umbral para lograr que la distancia entre la estación de carga EV y el consumidor sea mínima o igual a una estimación dada; el segundo busca resolver el Problema de Ubicación de Máxima Cobertura (MCLP) teniendo en cuenta diversos criterios de evaluación que permitan satisfacer la demanda de los usuarios. Después de realizada la evaluación de SCLP y MCLP, las ubicaciones escogidas se añaden por particiones para crear centros de mayor escala, estos actúan como puntos de conexión que incorporan diferentes modos de transporte. En la misma línea Bayram et al. [3] indican que la falta de idoneidad para la ubicación de estaciones de cargadores públicos de EV impide y obstaculizan el incremento de la promoción y uso, debido a que estos usuarios no tienen acceso directo a cargadores. Por ello proponen hacer uso del análisis espacial, ya que les permitirá realizar comparaciones del rendimiento de cobertura de la localización de las estaciones de carga ya establecidas. Es así como emplean una plataforma basada en un GIS para resolver problemas de ubicación de máxima cobertura (MCLP), y un algoritmo MCLP basado en relajación de programación línea para los problemas de optimización espacial.

Por otro lado, Morro-Mello et al. [4] proponen una metodología que ayuda a las empresas que reparten electricidad a reconocer puntos de conexión pretendientes para estaciones de carga rápida para disminuir las inversiones en nuevas instalaciones y refuerzo de la red. Es por ello por lo que examinan los posibles puntos de conexión con la teoría de grafos para hallar la conexión menos costosa a través del SIG. De la misma forma Csizsár et al. [5] proponen un método de optimización de ubicación que se basa en arcos mediante el uso de GIS y un algoritmo codicioso. Para ello se emplea una estrategia de despliegue de "mancha de aceite" que permite lograr una cobertura uniforme con una mínima cantidad de estaciones de carga rápida a lo largo de las carreteras. Asimismo, han identificado diversos atributos demográficos y servicios disponibles que impactan en la utilización de una estación de carga rápida, revelando así sus efectos en un enfoque sistemático. El método de toma de decisiones multicriterio desarrollado se ha realizado para evaluar las áreas de descanso a lo largo de las vías principales y autopistas, y así plantear lugares de implantación de estaciones de carga rápida.

Además, Pagany et al. [6] presentan un modelo que principalmente se basa en el usuario y la ubicación de estaciones de carga de EV: Modelo de ubicación de demanda de carga eléctrica (ECDL), aquí se evidencia el proceso de cálculo en el sistema de información geográfica (GIS) permitiendo así corroborar la aplicabilidad del modelo y encontrar las posiciones potenciales para las estaciones. A través de los resultados obtenidos se determina que el modelo ECDL permite calcular la demanda de carga eléctrica en los puntos de interés para vehículos eléctricos, así como identificar los sitios apropiados para estaciones de carga (CS) dentro de distancias a pie adecuadas y óptimas. Y también es

capaz de garantizar un suministro completo de CS para cumplir la demanda total de carga de EV. Todos estos resultados están en base al número de propietarios de conductores y vehículos, y la de los puntos de interés más visitados.

En esa misma línea Ghodusejad et al. [7] nos indican que las estaciones de carga deben ubicarse en lugares precisos para sacar el máximo provecho a los EV, para ello emplean el SIG para la selección óptima de sitios de estaciones, adicionando a esto un proceso de análisis jerárquico simple. Finalmente, Wang [8] inserta el GIS en la planificación de la selección de la ubicación de las estaciones de energía integradas, y realizan un modelo de decisión de ubicación que se basa en SIG y TOPSIS mejorado. Primero, según los estándares se emplea GIS para estimar inicialmente la distribución y el área de las áreas de exclusión y las áreas accesibles para la construcción. En segundo lugar, se implanta un sistema integral de índices de evaluación de la economía, sociedad y naturaleza en el que se emplea el método AHP para determinar el peso de cada índice para alcanzar la alternativa óptima final con la incorporación de la función de superposición de capas geográficas GIS.

### III. MATERIAL Y MÉTODOS

De acuerdo con el estado del arte, existen diversos tipos de criterio que influyen en la demanda de carga a lo largo de las autopistas; sin embargo, entre los criterios más resaltantes se tiene a la distancia y el alcance de vehículos eléctricos, por ello se propone realizar un análisis comparativo de 2 a más criterios de ubicación de las estaciones de carga en el ArcGIS, tomando como caso de estudio a una ciudad que posee una gran cantidad de potencial usuario de EV, y parque automotor de vehículos eléctricos. Esta ciudad cuenta con un área de 9.62 km<sup>2</sup>, y cuenta con aproximadamente 404,001 habitantes.

El Diseño de la presente Investigación es experimental ya que se realiza la simulación de las estaciones de carga para autos eléctricos de acuerdo con cada criterio seleccionado. Para la recolección de datos se empleó la estadística y de esta forma se asegura que el problema cumpla con tener en su formulación una condición soluble, es decir que con los datos que se pueda obtener o recabar en un futuro sea factible alcanzar respuestas esperadas y asertivas. El Nivel de Investigación que se desarrolla en la presente investigación es descriptiva ya que se busca detallar cuales son las principales características de cada criterio a trabajar.

### IV. METODOLOGÍA

La determinación de los criterios de ubicación es uno de los aspectos básicos y fundamentales para la selección de sitios adecuados para las estaciones de carga. Por ello para la etapa inicial de selección se deben tener en cuenta algunos parámetros que garantizan el éxito de la ubicación como lo es la distancia entre estos.

La presente investigación comienza con el diseño de puntos de localización de las estaciones de carga empleando el ARCGIS para la georreferencia, este software al tener herramientas de mapeo permite recopilar, organizar y analizar información geográfica necesaria para la ubicación de estaciones como lo son identificar grifos y zonas de alta concurrencia como centros comerciales [9].

Luego, en base al diseño de puntos de localización se procede a aplicar el criterio de ubicación de mínima impedancia, se usa para ubicar las instalaciones de forma que se minimice la suma de todos los costes ponderados entre las instalaciones de la solución y los puntos de demanda existente, es decir, nos permitirá eliminar barreras o problemas como largas distancia que nos desaniman o frenan acudir a una estación de carga. Simultáneamente, podemos aplicar otro de los criterios de ubicación como el de máxima cobertura capacitada, este permite ubicar las instalaciones de modo que toda o la mayor parte de la demanda pueda ser atendida sin exceder la capacidad de ninguna estación de carga.

Después de aplicado los criterios de ubicación se debe verificar si las localizaciones de las estaciones son aceptables, es decir no debe existir expropiaciones, ya con esta verificación se pasa a la validación de todos los puntos de estaciones.

Finalmente, se procede a realizar el análisis comparativo entre ambos criterios de ubicación, para ello se debe obtener algunas variables obtenidas del ArcGIS como la distancia mínima y máxima entre las estaciones de carga. A partir de ello se realizará la selección del criterio óptimo para la selección de la ubicación de las estaciones. realizado y aplicado los criterios se realizará un análisis comparativo con las variables obtenidas. Ello permitirá determinar cuál es el criterio óptimo para la elección de ubicación de estaciones.

### III. CASO DE ESTUDIO

La propuesta se realiza en una ciudad urbana con una superficie total de 9.62 km<sup>2</sup>, tal y como se muestra en la Fig. 1., además se prevé la ubicación de 8 estaciones de carga para vehículos eléctricos de acuerdo con una proyección en base al año 2025 en dicha ciudad.



Fig. 1 Mapa de ubicación del área de estudio

Se conoce que la ubicación es el factor más importante que conlleva al éxito de una organización (público o privado), pues

ayuda a mantener bajos costos fijos, y permite tener una alta accesibilidad a las instalaciones. Por ello, los criterios de ubicación tienen como objetivo encontrar instalaciones de modo que suministren a los puntos de demanda de la manera más eficiente. Para realizar la localización de las 8 estaciones de carga en el área de estudio se emplearán 2 criterios de ubicación en el ArcGIS: mínima impedancia y máxima cobertura capacitada.

Para ambos criterios, se emplean los siguientes parámetros: red vial del área de estudio, puntos de demanda, posibles ubicaciones, número máximo de estaciones a elegir, tolerancia máxima de distancia y en el caso del criterio de máxima cobertura capacitada, la cantidad de puntos de demanda para cada estación de carga.

En primer lugar, se desarrolla el criterio de mínima impedancia en el área de estudio. Se emplean 20 posibles ubicaciones entre centros comerciales, grifos, concesionarias de vehículos y supermercados; y 50 puntos de demanda distribuidos en toda el área de estudio. Se emplea el criterio en el ArcGIS y se ubican 8 estaciones de carga para EV de acuerdo con la proyección al 2025.

En la Fig. 2., se muestra la aplicabilidad del criterio de mínima impedancia en la localización de estaciones de carga, teniendo como principal objetivo reducir las distancias de recorrido del usuario

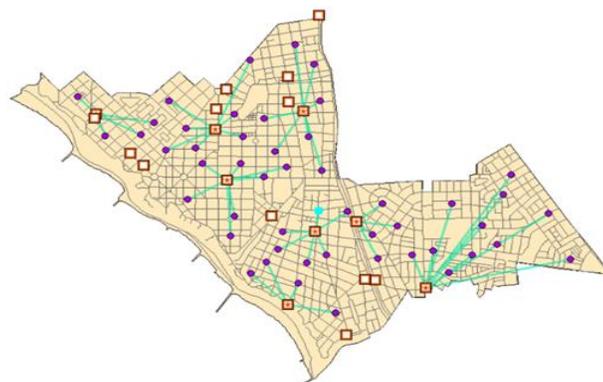


Fig. 2 Aplicación del criterio de mínima impedancia en zona de estudio.

En la TABLA I., se muestran las 8 estaciones de carga para EV seleccionadas por el ARCGIS con el criterio de mínima impedancia.

TABLA I  
ESTACIONES ELEGIDAS POR EL CRITERIO DE MÍNIMA IMPEDANCIA

Número de estación	Criterio de mínima impedancia
	<i>Estaciones Elegidas</i>
1	Mitsui automotriz Miraflores
2	Grifo AVA Espinar
3	Plazavea Miraflores
4	Grifo primax Schell
5	Grifo Repsol Panamá
6	6. Cc larcomar
7	Vivanda Benavides
8	Vivanda Pardo

Del mismo modo, en la Fig. 3. se observa el desarrollo del criterio de máxima cobertura capacitada en el ArcGIS. Para este criterio se debe asignar el parámetro de la capacidad para cada estación de carga siendo estos 4 vehículos eléctricos. El número de estaciones a elegir serán de 8 estaciones de carga para EV.



Fig. 2 Aplicación del criterio de máxima cobertura capacitada en zona de estudio

Asimismo, en la TABLA II., se presentan las 8 estaciones de carga para EV seleccionadas por el ARCGIS con el criterio de máxima cobertura capacitada.

TABLA II  
ESTACIONES ELEGIDAS POR EL CRITERIO DE MÁXIMA COBERTURA CAPACITADA

Número de estación	Criterio de máxima cobertura capacitada
	<i>Estaciones Elegidas</i>
1	MG Motors autolar
2	Grifo AVA espinar
3	Plaza vea Miraflores
4	Vivanda Pardo
5	Wong Bajada Balta
6	Vivanda Benavides
7	Grifo Primax Schell
8	CC. Larcomar

Además, en las TABLAS III y IV, se muestra la información de las distancias obtenidas entre las estaciones elegidas empleando los criterios de ubicación, todo ello gracias al software empleado.

TABLA III  
DISTANCIAS ENTRE ESTACIONES DE CARGA CON EL CRITERIO DE MÍNIMA IMPEDANCIA

Estaciones de Carga		
<i>Primera Estación</i>	<i>Segunda Estación</i>	<i>Distancia (m)</i>
Mitsui automotriz Miraflores	Grifo AVA Espinar	1482.43
Grifo AVA Espinar	Plazavea Miraflores	1045.52
Plazavea Miraflores	Grifo primax Schell	1519.11
Grifo primax Schell	Grifo Repsol Panamá	1249.48
Grifo Repsol Panamá	6. Cc larcomar	2385.11
Cc larcomar	Vivanda Benavides	971.42
Vivanda Benavides	Vivanda Pardo	1303.61
Vivanda Pardo	Mitsui automotriz Miraflores	1611.17

TABLA IV  
DISTANCIAS ENTRE ESTACIONES DE CARGA CON EL CRITERIO DE  
MÁXIMA COBERTURA CAPACITADA

Estaciones de Carga		
Primera Estación	Segunda Estación	Distancia (m)
MG Motors autoland	Grifo AVA espinar	1023.19
Grifo AVA espinar	Plaza vea Miraflores	1060.29
Plaza vea Miraflores	Vivanda Pardo	1516.08
Vivanda Pardo	Wong Bajada Balta	807.06
Wong Bajada Balta	Vivanda Benavides	586.41
Vivanda Benavides	Grifo Primax Schell	1884.83
Grifo Primax Schell	CC. Larcomar	1974.13
CC. Larcomar	MG Motors autoland	2418.42

#### IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

A través de todos los resultados obtenidos de los distintos criterios de ubicación aplicados se puede determinar que el óptimo para la selección de localización de estaciones de carga es el Criterio de Máxima Cobertura capacitada, debido a las ventajas que ofrece en sus parámetros establecidos.

Se observa que si aplicamos el criterio de máxima cobertura tendremos distancia mínima entre estaciones de 586 metros, a diferencia del criterio de mínima impedancia que nos brinda distancias mínimas de casi 1km de distancia. De la misma manera las distancias máximas son de 2.4 km para ambos criterios aplicados. A partir de estos datos podemos determinar la distancia promedio existente entre las estaciones obteniendo así un valor de 1.5 km para el Criterio de Máxima Cobertura capacitada y 1.7 km para el de Mínima impedancia.

Asimismo, a través de los resultados obtenidos se identifica que la capacidad de atención máxima y mínima que pueden atender las estaciones de carga aplicando ambos criterios es distinta, obteniendo así que para el criterio de mínima impedancia se tienen valores de capacidad mínima de 3 puntos de demanda y para una capacidad máxima de 11 puntos de demanda. Una gran diferencia presenta el criterio de máxima cobertura, quien solo muestra como capacidad mínima y máxima 4 puntos de demanda, demostrando así que solo el segundo criterio es el óptimo para aplicar ya que según la propuesta planteada se establecerán estaciones de carga de potencia máxima de 60 kW, y según Electro Transporte [9] las estaciones de 60 kW solo pueden abastecer como máximo 4 autos eléctricos simultáneamente, esto debido a la capacidad de carga existente.

En la TABLA V, se muestra la comparación de los parámetros analizados entre los dos criterios de ubicación aplicados en la zona de estudio.

TABLA V  
DISTANCIAS ENTRE ESTACIONES DE CARGA CON EL CRITERIO DE  
MÁXIMA COBERTURA CAPACITADA

Parámetros	Criterios de Ubicación	
	Mínima Impedancia	Máxima Cobertura Capacitada
Distancia mínima entre estaciones	971 m	586 m
Distancia máxima entre estaciones	2.4 km	2.4 km
Distancia promedio entre estaciones	1.7 km	1.5 km
Capacidad mínima de puntos de demanda	3	4
Capacidad máxima de puntos de demanda	11	4

#### V. VALIDACIÓN

Para realizar la validación de resultados se va a considerar un escenario alternativo de acuerdo con la proyección obtenida al año 2025. Para este caso, se va a aumentar la cantidad de estaciones de carga y puntos de demanda en un 25%; para el cual se va a tener un total de 12 estaciones de carga para vehículos eléctricos y 75 puntos de demanda distribuidos en toda el área de estudio. De esta forma, se procede a validar de acuerdo con un análisis estadístico que el criterio de máxima cobertura capacitada es el más adecuado para una óptima ubicación de estaciones de carga para vehículos eléctricos en una determinada área de estudio.

En primer lugar, se emplea en el ArcGIS el criterio de mínima impedancia en el área de estudio con la ubicación de las 12 estaciones de carga seleccionadas, tal como se muestra en la Fig. 4.

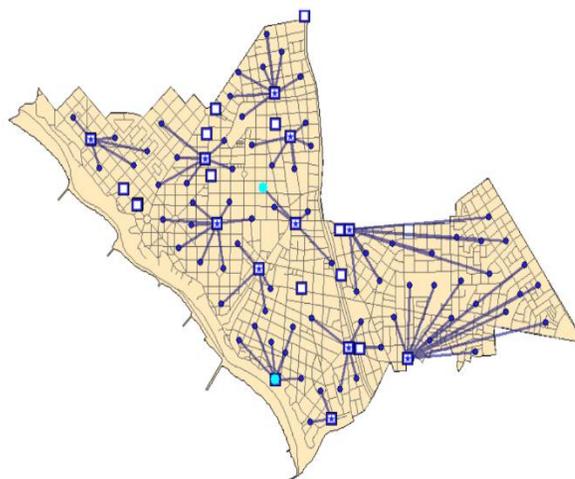


Fig. 4. Criterio de mínima impedancia

Luego, se realiza el análisis estadístico con los parámetros obtenidos de distancia entre estaciones de carga y capacidad de carga de cada una. Para el análisis estadístico se va a desarrollar: distancia máxima, mínima y promedio entre estaciones; desviación estándar; varianza; número de

estaciones de carga, capacidad de carga máxima, mínima y promedio de las estaciones elegidas. Todo ello, con el fin de evaluar que el criterio de máxima cobertura capacitada presenta una mejor localización de estaciones de carga para vehículos eléctricos cuando hay un aumento en el número de estaciones de carga y la cantidad de demanda.

En la TABLA VI. se muestran los resultados del análisis estadístico desarrollado con el criterio de mínima impedancia.

TABLA VI  
ANÁLISIS DE ESTADÍSTICO DEL CRITERIO DE MÍNIMA IMPEDANCIA

Parámetros	Resultados
Distancia promedio entre estaciones de carga	1.2 km
Distancia máxima entre estaciones de carga	2.57 km
Distancia mínima entre estaciones de carga	0.52 km
Desviación estándar	0.58
Varianza	0.34
Número de estaciones de carga	12
Capacidad de carga máxima de cada estación	13
Capacidad de carga mínima de cada estación	2
Capacidad de carga promedio de cada estación	7

Del mismo modo, se emplea en el ArcGIS el criterio de máxima cobertura capacitada en el área de estudio con la ubicación de las 12 estaciones de carga seleccionadas, tal como se muestra en la Fig. 5.

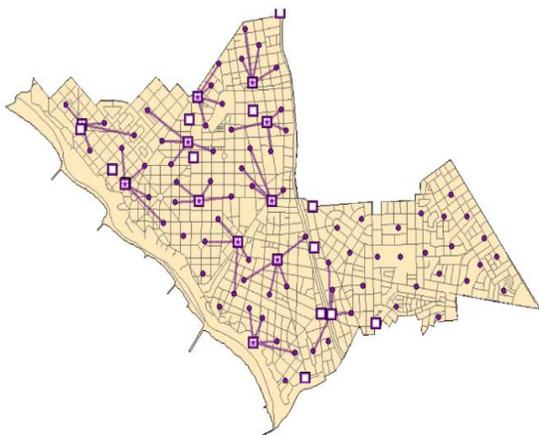


Fig. 5 Criterio de máxima cobertura capacitada

Luego, se realiza el análisis estadístico con los parámetros obtenidos de distancia entre estaciones y capacidad de carga. En este caso, con el desarrollo del criterio de máxima cobertura capacitada en el ArcGIS.

En la TABLA VII, se muestran los resultados del análisis estadístico desarrollado para este caso.

TABLA VII  
ANÁLISIS DE ESTADÍSTICO DEL CRITERIO DE MÁXIMA COBERTURA CAPACITADA

Parámetros	Resultados
Distancia promedio entre estaciones de carga	1.01 km
Distancia máxima entre estaciones de carga	1.83 km
Distancia mínima entre estaciones de carga	0.49 km
Desviación estándar	0.36
Varianza	0.13
Número de estaciones de carga	12
Capacidad de carga máxima de cada estación	4
Capacidad de carga mínima de cada estación	4

Entre ambos criterios el de máxima cobertura capacitada presenta una menor distancia promedio entre estaciones y una capacidad de carga equitativa de 4 vehículos en simultaneo; a diferencia del criterio de mínima impedancia que asigna hasta una cantidad máxima de 13 vehículos a una estación, el cual no es adecuado ya que generaría largas colas de espera y en otra estación asigna a un mínimo de 2 vehículos. Todo ello, demuestra que el criterio de mínima impedancia no realiza un análisis equitativo para asignar un número determinado de vehículos para cada estación de carga.

En el caso de los parámetros de desviación estándar y varianza, los resultados muestran que el criterio de máxima cobertura capacitada tiene un menor resultado: una desviación estándar de 0.36 y una varianza de 0.13; en comparación con el criterio de mínima impedancia. Estos resultados reflejan que el criterio de máxima cobertura capacitada presenta una menor dispersión con respecto a la distancia promedio entre las estaciones de carga. Lo cual se evidencia, en que el criterio de máxima cobertura capacitada presenta una mejor red de distribución de las 12 estaciones de carga para vehículos eléctricos elegidas.

Finalmente, luego de desarrollar ambos criterios en el ArcGIS y presentar el análisis estadístico obtenido con los parámetros de distancia entre estaciones y capacidad de carga de cada una; se valida que el criterio de máxima cobertura capacitada es el más adecuado para la localización de estaciones de carga en un área de estudio; y que además se puede asignar un número de capacidad de vehículos para cada estación de carga. De esta forma, no se generan largas colas de espera en cada estación y presenta una mejor red de estaciones de carga con una menor distancia promedio de 4 autos eléctricos simultáneamente, esto debido a la capacidad.

## VI. CONCLUSIONES

- A partir de la investigación realizada, se reconoce que el uso del ArcGIS colabora con el desarrollo de un modelo idóneo para la localización de estaciones de carga ya que permite considerar diversos criterios y características tales como distancias mínimas de

recorrido, capacidad de puntos de carga, cantidad de usuarios, entre otros.

- Los criterios seleccionados para esta investigación son el criterio de ubicación de mínima impedancia que nos permite localizar las estaciones de carga para vehículos eléctricos considerando un recorrido mínimo por el usuario y el criterio de máxima cobertura capacitada que nos permite asignar una capacidad limitada de vehículos eléctricos para cada estación.
- De acuerdo con el análisis comparativo, el criterio de máxima cobertura capacitada presenta una mejor red de distribución entre las estaciones de carga ya que tiene una menor distancia promedio entre ellas. Asimismo, este criterio presenta una misma capacidad de vehículos en todas las estaciones de carga, lo cual no genera largas colas de espera en cada estación ni molestias por parte del usuario ya que cada estación puede cargar hasta 4 vehículos eléctricos en simultáneo.
- Según los resultados obtenidos, en el escenario alterno, los valores de la desviación estándar y la varianza empleando el criterio de máxima cobertura capacitada son menores en comparación con el criterio de mínima impedancia; el cual valida que presenta una mejor red de estaciones y una óptima localización de estaciones de carga para vehículos eléctricos.
- Asimismo, a un mayor número de puntos de demanda en un área de estudio, el número de estaciones de carga también aumentará ya que se debe considerar la capacidad máxima de atención que tendrá cada estación de carga.
- Finalmente, en comparación con ambos criterios, el criterio de máxima cobertura capacitada presenta una mejor localización de estaciones de carga para vehículos eléctricos, debido a las ventajas existentes en sus parámetros establecidos.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Shahab, et al. "Estaciones de carga móviles para la gestión de carga de vehículos eléctricos en áreas urbanas: un estudio de caso en Chattanooga". *Energía Aplicada* 325 (2022): 119901.
- [2] I. Hamid. "A multicriteria GIS-based decision-making approach for locating electric vehicle charging stations." *Transportation Engineering* 9 (2022): 100135.
- [3] I. Bayram, Safak, Usman Zafar, and Sertac Bayhan. "Could petrol stations play a key role in transportation electrification? A GIS-based coverage maximization of fast EV chargers in urban environment." *IEEE Access* 10 (2022): 17318-17329.
- [4] Morro-Mello, et al. "Spatial connection cost minimization of EV fast charging stations in electric distribution networks using local search and graph theory." *Energy* 235 (2021): 121380.
- [5] C. Csiszár, et al. "Location optimisation method for fast-charging stations along national roads." *Journal of Transport Geography* 88 (2020): 102833.

- [6] Pagany, et al. "Electric charging demand location model—A user-and destination-based locating approach for electric vehicle charging stations." *Sustainability* 11.8 (2019): 2301.
- [7] Ghodusinejad, Mohammad Hasan, Younes Noorollahi, and Rahim Zahedi. "Optimal site selection and sizing of solar EV charge stations." *Journal of Energy Storage* 56 (2022): 105904.
- [8] Wang, et al. "Method multi-criteria decision-making method for site selection analysis and evaluation of urban integrated energy stations based on geographic information system." *Renewable Energy* (2022).
- [9] UNIGIS (2017) Formación online en sistemas de información geográfica: ¿Qué software y herramientas de SIG utilizamos? Recuperado de: [https://www.unigis.es/software\\_sig/#:~:text=Las%20dos%20aplicaciones%20de%20escritorio,se%20ajustan%20a%20sus%20necesidades](https://www.unigis.es/software_sig/#:~:text=Las%20dos%20aplicaciones%20de%20escritorio,se%20ajustan%20a%20sus%20necesidades)