

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID MEDIANTE DIAGRAMAS DE VORONOI.

David González-Calatayud Heras

IES Pintor Antonio López

Introducción

La transición hacia el vehículo eléctrico es uno de los principales objetivos que nos planteamos en el camino hacia la reducción de emisiones de CO₂. Sin embargo, son numerosos los factores que ponen en duda la viabilidad de esta transición. Para una implantación generalizada del uso del vehículo eléctrico es preciso disponer de una red suficientemente amplia de puntos de carga para abastecer a la población.

Este proyecto tiene como objetivo, en primer lugar, analizar la distribución de puntos de carga de la Comunidad de Madrid, con el propósito de identificar los parámetros que nos permitan mejorar la red. A continuación, en base al análisis, se propondrá un método algorítmico que nos permitirá localizar la ubicación de un nuevo punto de carga en una localidad determinada. Se comprobará la eficacia de dicho método aplicándolo en una localidad de la Comunidad de Madrid.

Hipótesis

Después informarme sobre el mercado de vehículos eléctricos, enfocándome en los puntos de carga, y conociendo algunas propiedades y aplicaciones del diagrama de Voronoi, planteo las siguientes hipótesis relativas a la distribución actual de puntos de carga:

- Las ubicaciones de los actuales puntos de carga de la Comunidad de Madrid no han sido planificadas de acuerdo con un criterio que pretenda abastecer de forma equitativa a la mayor población. Al ser empresas privadas las responsables de dicha distribución acaban siendo las leyes del mercado las que determinan las ubicaciones.
- La actual distribución dista mucho de ser equitativa al estar concentrados los puntos de carga en las zonas con mayor renta de la Comunidad de Madrid.
- Los diagramas de Voronoi pueden ser una herramienta útil para mejorar la distribución actual determinando el emplazamiento de nuevos puntos de carga siguiendo un criterio de equidad que abastezca a la mayor población posible independientemente de su renta.

Objetivos

El estudio plantea los siguientes objetivos principales sobre la distribución de los puntos de carga vehículos eléctricos de la Comunidad de Madrid haciendo uso de los diagramas de Voronoi:

- I. Proponer una distribución ideal de puntos de carga en un área determinada utilizando como marco teórico los diagramas de Voronoi.
- II. Construir el diagrama de Voronoi relativo a los puntos de carga en la Comunidad de Madrid, analizando su distribución.
- III. Proponer una modelización matemática para la elección de nuevas ubicaciones de puntos de carga que mejoren la distribución en la Comunidad de Madrid, tomando como ejemplo los municipios de Alcobendas-San Sebastián de los Reyes.

Metodología

El estudio consta de tres partes, una primera parte en la que se desarrollará el diagrama de Voronoi de los puntos de carga de la Comunidad de Madrid, mediante un mapa interactivo programado en *JavaScript*. Luego, en la segunda parte, se analizarán los distintos factores que influyen en la distribución de los puntos de carga. Para ello, se realizará un análisis de la relación entre puntos de carga y renta per cápita en los 21 distritos del municipio de Madrid.

Por último, en la tercera parte, se realizará la propuesta de emplazamiento de un nuevo punto de carga en una localidad determinada. Esta propuesta consistirá en un modelo matemático algorítmico basado en los diagramas de Voronoi, con el objetivo de tener una distribución de puntos de carga más equitativa que la ya existente. El modelo se ilustrará con un ejemplo real en el municipio de Alcobendas, utilizando herramientas como GeoGebra y Excel.

Resultados

La primera parte del estudio, el desarrollo del mapa interactivo del diagrama de Voronoi de los puntos de carga de la Comunidad de Madrid, ha permitido descubrir las zonas de mayor y menor densidad de puntos de carga. Se ha observado que la distribución viene determinada por diversos factores como la densidad de población, la naturaleza urbanística del suelo, el tipo de actividad económica o la red de carreteras.

Pero se ha querido analizar de forma más específica la correlación existente entre la renta per cápita y el número de puntos de carga por habitante en las diferentes localidades de la Comunidad de Madrid. Tal y como se había intuido en las hipótesis, existe una correlación positiva fuerte entre ambos parámetros ($R^2 = 0,588$). En la tercera parte, se ha propuesto un modelo matemático que emplaza de forma local la ubicación de un nuevo punto de carga que mejore la distribución. Este modelo ha funcionado satisfactoriamente en la localidad que se ha elegido para ponerlo a prueba.

Conclusiones

Los diagramas de Voronoi han sido una herramienta muy útil tanto para analizar la distribución de puntos de carga, como para proponer el emplazamiento de nuevos. En la primera parte, se ha sido capaz de desarrollar el mapa interactivo de los puntos de carga de la Comunidad de Madrid. Esto luego se ha aplicado a la segunda parte, la de análisis, donde se ha establecido que existe una correlación positiva fuerte entre renta y puntos de carga. Por último, se ha diseñado un modelo matemático que mejora la distribución actual de puntos de carga.

Si queremos lograr la electrificación del transporte, debemos eliminar de la distribución sesgos como la renta. Puesto que el coche es un bien universal, la ubicación de los puntos de carga debería ser equitativa, para así implicar a todos los estratos de la sociedad en esta transición al vehículo eléctrico.

Bibliografía

- [1] ONU. La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. En *un.org* [sitio web] [Consulta diciembre 2019]. Disponible en: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>>.
- [2] MANZOOR, S., ET AL. (2014). "Boundary Aligned Grid Generation and CVD-MPFACell-centred Versus Cell-vertex on Unstructured Grids". [en línea] En: *ECMOR XIV-14th* [Consulta diciembre 2019]. Disponible en: <<https://doi.org/10.3997/2214-4609.20141858>>
- [3] RAMELLA, MASSIMO, ET AL. (2001) "Finding galaxy clusters using Voronoi tessellations.". En: *Astronomy & Astrophysics*. Vol. 368, nº 3, pp. 776-786. [en línea] [Consulta diciembre 2019]. Disponible en: <<https://doi.org/10.1051/0004-6361:20010071>>.
- [4] JASON DAVIS (2015). "World Airports Voronoi". En *jasondavis.com*. [sitio web] [Consulta junio 2019]. Disponible en: <<https://www.jasondavies.com/maps/voronoi/airports/>>.
- [5] SANCHEZ-GUTIERREZ, D.; TOZLUOGLU, M.; BARRY, J. D.; PASCUAL, A.; MAO, Y.; ESCUDERO, L. M (2016). "Fundamental physical cellular constraints drive self-organization of htissues". En: *The EMBO Journal*, [en línea] nº 35, pp. 77-88. [Consulta octubre 2019]. Disponible en: <<https://www.embopress.org/doi/full/10.15252/emboj.201592374>>.
- [6] KIM, JONGHOEK & ZHANG, FUMIN & EGERSTEDT, MAGNUS (2010). "A provably complete exploration strategy by constructing Voronoi diagrams". En: *A provably complete exploration strategy by constructing Voronoi diagrams*. Nº 29 [en línea] [Consulta diciembre 2019]. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s10514-010-9200-5>>
- [7] FLORES R., M. (2007) "¿Algoritmo versus arquitectura? Diagrama de Voronoi como herramienta de diseño". En: *Revista de Arquitectura*. Nº 13, pp. 45 [en línea] [Consulta septiembre 2019]. Disponible en: <<https://dearquitectura.uchile.cl/index.php/RA/article/view/28202>>
- [8] SUMPTER, DAVID (2017). "The geometry of attacking football [en línea] [Consulta septiembre 2019]. Disponible en: <<https://medium.com/@Soccermatics/the-geometry-of-attacking-football-bee87e7a749>>.
- [9] VORONOI G. (1908). "Nouvelles applications des para-mètres continus à la théorie de formes quadratiques". En: *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik*. Vol. 134, pp. 198–287
- [10] MARK DE BERG, OTFRIED CHEONG, MARC VAN KREVELD AND MARK OVERMARS (2007). *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Cap. 7. Berlin: Springer, Ed. 3ª.
- [11] LIU, ZHIPENG; WEN, FUSHUAN; LEDWICH, GERARD. (2012) Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 28, no 1, p. 102-110. [Consulta septiembre 2019]. Disponible en: <<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012.2223489>>

Nota: Dada la limitación de espacio, aquí se muestran las 11 primeras citas bibliográficas del trabajo de investigación, el cual tiene 25 citas.