



**Universidad
Zaragoza**

«Trabajo de Fin de Grado»

“Análisis de la infraestructura de movilidad eléctrica en la ciudad de Zaragoza: patrones espaciales de las estaciones de carga para vehículos eléctricos”

“Analysis of the electric mobility infrastructure in the city of Zaragoza: spatial patterns of electric vehicles charging stations”

Autor

Javier Royo Vicente

Directoras

Ana Isabel Escalona Orcao y Lucía Martínez Cebrián

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Año académico 2022/2023

Resumen

En el camino a la sostenibilidad de la movilidad urbana, el creciente interés por la movilidad eléctrica, y el consiguiente incremento del parque de vehículos, hace necesaria la existencia de estaciones de carga para vehículos eléctricos, o electrolinerías. En la ciudad de Zaragoza su número ha aumentado en los últimos años, sin embargo, queda evaluar si la actual dotación de estaciones, sus características y distribución por la ciudad son apropiadas. Mediante el presente Trabajo fin de grado, se pretende realizar un análisis sistemático del proceso de implantación urbana de este tipo de infraestructura en la ciudad. Esto supone el estudio de la dinámica espaciotemporal experimentada, la caracterización de las estaciones y el análisis de los factores de localización. El trabajo termina con la valoración de si la actual dotación de las infraestructuras estudiadas satisface las expectativas y necesidades de una ciudad compacta de tamaño intermedio y con la proposición de mejoras de la red existente.

Palabras clave: estación de carga, movilidad urbana, movilidad eléctrica, transición energética, Zaragoza

Abstract

On the way to the sustainability of urban mobility, the growing interest in electric mobility, and the consequent increase in the number of vehicles, makes necessary the existence of electric vehicles charging stations, or “electrolinerías”. In the city of Zaragoza their number has increased in recent years, however, it is left to evaluate if the current number of stations, their characteristics and distribution across the city are appropriate. Through this Final Degree Project, it is intended to carry out a systematic analysis of the process of urban establishment of this type of infrastructure in the city. This supposes the study of the time-space dynamics experienced, the characterization of the stations and the analysis of the location factors. The work ends with the assessment of whether the present number of the studied infrastructures satisfies the expectations and needs of a compact intermediate size city and with the proposal of improvements to the existing network.

Key words: charging station, urban mobility, electric mobility, energy transition, Zaragoza

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. LA MOVILIDAD ELÉCTRICA. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL TRABAJO	7
2.1. Contexto de la Unión Europea	7
2.2. Interés para la Cámara de Comercio, Industria y Servicios de Zaragoza	9
2.3. Objetivos del Trabajo fin de grado	10
3. LAS ESTACIONES DE CARGA PARA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA. CARACTERIZACIÓN, EVOLUCIÓN Y DISTRIBUCIÓN POR EL ESPACIO URBANO	12
3.1. Elementos para la caracterización de las estaciones de carga	12
3.2. Factores de la evolución del parque de estaciones de carga	14
3.2.1. Factores desde el lado de la demanda	14
3.2.2 Factores desde el lado de la oferta	15
3.3. Factores de la distribución espacial de estaciones de carga en áreas urbanas ..	16
4. METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	18
5. ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE MOVILIDAD ELÉCTRICA EN ZARAGOZA	20
5.1. Presentación de Zaragoza como marco del estudio	20
5.2. Dinámica temporal y difusión espacial de las infraestructuras estudiadas	23
5.3. Caracterización de las estaciones: número de cargadores, potencia-tiempo de carga y emplazamientos	27
5.4. Análisis de la localización	34
5.4.1. Intensidad de la disparidad en la distribución espacial de las estaciones de carga en el espacio urbano	34
5.4.2. Factores explicativos: densidad de población, renta del hogar e intensidad del tráfico	36
5.5. Evaluación. Áreas de influencia y optimización de la red	48
6. CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXO	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Parque vehículo eléctrico, Zaragoza, 2021.....	21
Gráfico 2: Evolución de estaciones de carga para vehículo eléctrico.	23
Gráfico 3: Evolución de las estaciones de carga por Juntas.....	24
Gráfico 4. Histograma del número de cargadores por estación.	27
Gráfico 5: Potencia-velocidad máx. de carga por estación.	28
Gráfico 6: Evolución de las estaciones de carga por localización	30
Gráfico 7: correlación de estaciones y densidad de habitantes (hab./ha).....	44
Gráfico 8: correlación de cargadores y densidad de habitantes (hab./ha).....	44
Gráfico 9: Correlación 3: estaciones renta del hogar (€/año).....	45
Gráfico 10: correlación de cargadores y renta del hogar (€/año).....	45
Gráfico 11: Correlación de estaciones e intensidad del tráfico (vehículos/día).	46
Gráfico 12: Correlación de cargadores e intensidad del tráfico (vehículos/día).....	46

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Mercado de venta de automóviles eléctrico-recargables (2022).....	8
Mapa 2: Distribución de las estaciones de carga de automóvil eléctrico (2022).	9
Mapa 4: Evolución de las estaciones de carga para vehículo eléctrico.	26
Mapa 5: Cargadores y potencia de carga de las estaciones.....	29
Mapa 5: Emplazamientos representativos de las estaciones de carga.....	32
Mapa 6: Emplazamientos secundarios de las estaciones de carga.....	33
Mapa 7. Densidad de estaciones.....	35
Mapa 8. Densidad de población.....	38
Mapa 9. Renta del hogar.	40
Mapa 10: Variaciones espaciales en la intensidad media diaria del tráfico	43

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto global de lucha contra el cambio climático de las últimas décadas ha crecido enormemente la preocupación por la insostenibilidad de nuestro modo de vida. El sector del transporte es el que más gases de efecto invernadero produce en España, con un 27% del total de las emisiones. Dentro del mismo, el realizado por carretera suma el 94,38% de las emisiones en transporte (Observatorio del transporte y la logística en España, 2020). Este hecho hace imprescindible la transición hacia un nuevo modelo de movilidad como el eléctrico, no carente de controversia en su eficiencia y sostenibilidad.

Sin duda, es en los entornos urbanos donde más se concentra el tráfico y las emisiones, por lo que, desde los últimos años, se vienen implementando medidas para reducir el tráfico rodado de vehículos de motor térmico, por ejemplo, con las zonificaciones de emisiones reducidas. Con el apoyo institucional de los vehículos eléctricos y, la todavía reducida pero creciente demanda de este tipo de movilidad, se hace necesaria la existencia de una red de estaciones de carga pública espacialmente homogénea y completa.

Sin embargo, esta infraestructura se ha venido instalando de forma desordenada en su mayor parte, en localizaciones que no siempre son las más idóneas, además de seguir requisitos no estandarizados. Por este motivo se hace necesario el conocimiento de la red existente, tanto en su componente espacial como en sus innumerables atributos técnicos, con el fin de poder hacer frente a la creciente movilidad eléctrica en las ciudades.

La justificación expuesta es el motivo por el que la Oficina para la promoción de la Movilidad Eléctrica y conectada (OPME-c), de la Cámara de Comercio, Industria y Servicios de Zaragoza, en colaboración con el Consorcio de transportes del área de Zaragoza, realiza bases de datos sobre las estaciones de carga desde el año 2020. El autor de este Trabajo de Fin de Grado realizó sus prácticas curriculares del Grado de Geografía y Ordenación del territorio de la Universidad de Zaragoza, actualizando dicha base de datos y haciendo un primer análisis que está reflejado en la memoria de prácticas (Royo, J. (2023)). En el presente estudio se da un paso más con la pretensión de

hacer un diagnóstico de la red existente y de proponer mejoras para su crecimiento futuro.

La metodología seguida para alcanzar tal fin comienza con la actualización al año 2023 y en la mejora de las bases de datos existentes de los años 2020 y 2021, a través de los datos contenidos en diversos visores cartográficos para usuarios de vehículo eléctrico. También destaca en el análisis el empleo de otra información espacial y temática en el análisis. Con ellos se realizó un análisis dinámico y cartográfico de la evolución de la infraestructura, caracterización del mismo y determinación de sus factores de localización mediante técnicas de correlación.

En cuanto a los contenidos el trabajo comienza por un primer bloque de contextualización del tema a varias escalas, se aportan después unas consideraciones teóricas imprescindibles sobre los factores que influyen en la oferta y demanda, así como en la distribución espacial de las estaciones por el espacio urbano. Tras una presentación de Zaragoza como marco del estudio, se abordan después los análisis previstos. En un primer bloque se aborda la descripción de la evolución espaciotemporal experimentada por las estaciones de carga en Zaragoza y la caracterización, espacial y temática, de las estaciones. Un segundo bloque se dedica al análisis de los factores de localización y al diagnóstico y proposición de mejoras futuras. Finalmente se concluye resaltando la verificación de las 3 hipótesis planteadas: densidad de población, renta del hogar e intensidad de tráfico de vehículos mantienen una correlación positiva alta con el número de estaciones, y la necesidad de seguir homogeneizando la red existente-

Se agradece a las profesoras Ana Isabel Escalona Orcao y Lucía Martínez Cebrián por su asesoramiento y buen trato como directoras de TFG. También a Diego Artigot Noguera, responsable de la OPME-c y tutor de las prácticas mencionadas, por su disposición a facilitar información para la realización del presente trabajo.

2. LA MOVILIDAD ELÉCTRICA. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

2.1. Contexto de la Unión Europea

Como antecedente del presente estudio es importante tratar el contexto general en el que este tipo de infraestructuras se desarrolla.

La Agencia Europea del Medio Ambiente determinó que el transporte producía el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la U.E., con un crecimiento del 30% en los últimos 30 años. Este es el motivo por el que el Pacto Verde Europeo fijó el objetivo de disminuir en un 90% las emisiones existentes en 1991 para el año 2050. (Ibor-Mayor, L., 2023)

La movilidad eléctrica forma parte sustancial de las estrategias para la movilidad sostenible y descarbonización en el contexto de transición energética en la U.E. Prácticamente la totalidad de las políticas de los países miembros, tanto desde el punto de vista de la oferta como desde la demanda (**apartado 3.2**), son adecuaciones a las normativas comunitarias. Destacan:

- Reglamento 443/2009, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros. ¹
- Directiva 2014/94 relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos.
- Directiva 2019/1161 referente a la promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes.

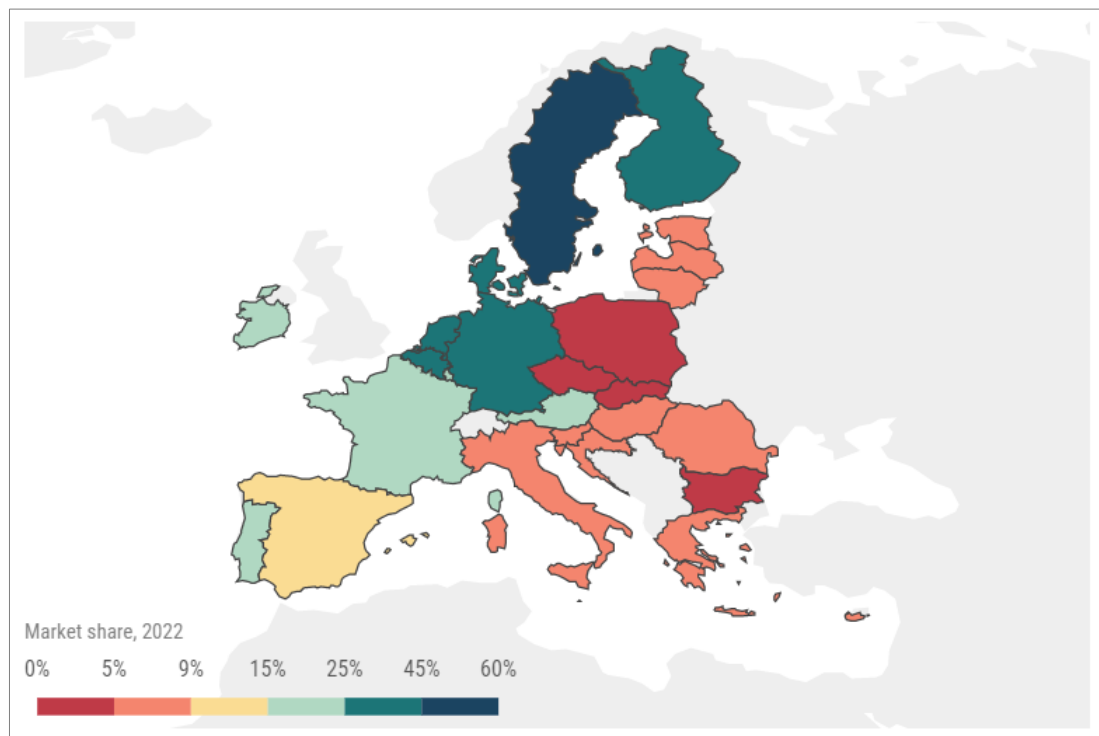
También es de especial relevancia el “Libro blanco del transporte”, documento elaborado por la Comisión Europea con las estrategias a seguir en esta materia.

Con respecto a la situación del mercado el nivel de implementación presenta gran variabilidad entre los Estados miembros de U.E. Este es el motivo de la presentación de los **mapas 1 y 2**, donde podemos ver las diferencias en cuanto a las ventas de vehículos enchufables y las estaciones de carga. Destacan los países del este de Europa con valores

¹ De especial transcendencia a pesar de su antigüedad.

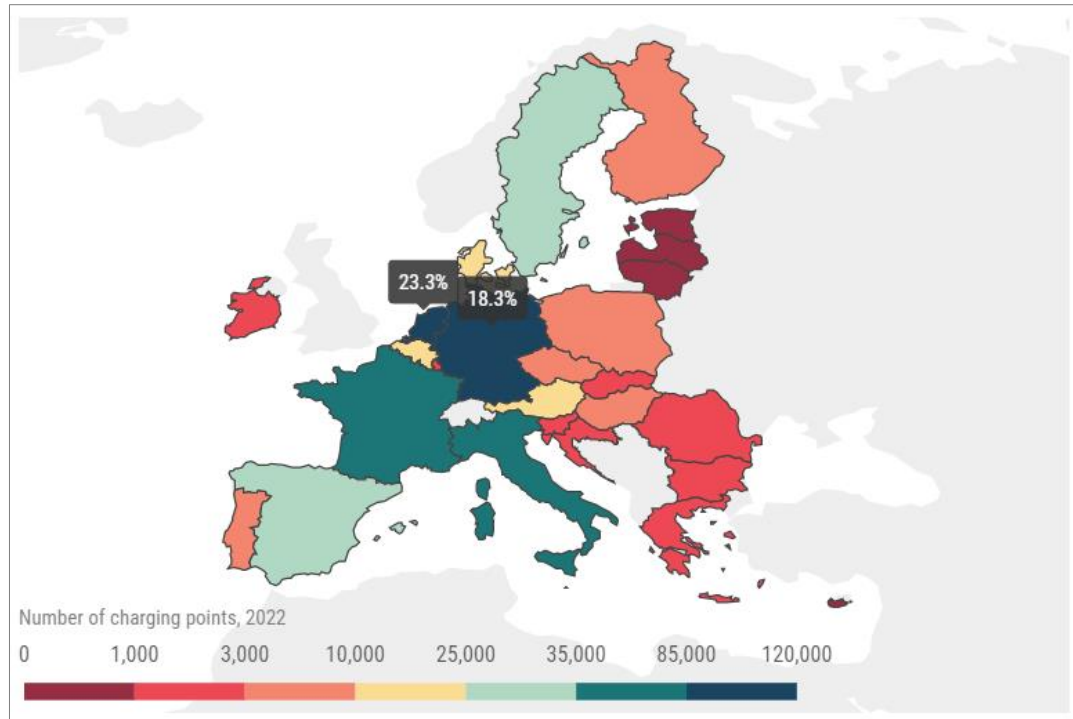
bajos en ambos casos, los nórdicos con una infraestructura eléctrica inferior al parque móvil existente y los centroeuropeos con más oferta de estaciones que demanda de automóviles, en el año 2022. Este último caso es también el de España, aunque con cifras menores.

Fuera de Europa la región de Asia-Pacífico alcanza actualmente la mayor cantidad de estaciones de carga a nivel mundial por la creciente demanda de vehículos eléctricos y la retroalimentación producida por las políticas encaminadas a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, será Europa la que presente un mayor crecimiento en los próximos años, especialmente en países como Francia, Alemania, Holanda y Noruega. (Infraestructura energética para el mercado de estaciones de carga EV por componente, número de EVSE, fuente de energía y geografía: pronóstico global para 2029).



Mapa 1: Mercado de venta de automóviles eléctrico-recargables (2022).

Fuente: *European Automobile Manufacturers' Association.*



Mapa 2: Distribución de las estaciones de carga de automóvil eléctrico (2022).

Fuente: *European Automobile Manufacturers' Association*.

2.2. Interés para la Cámara de Comercio, Industria y Servicios de Zaragoza

Por lo que respecta a España nos encontramos con el Proyecto de Ley de Movilidad Sostenible (2022), con una entrada en vigor prevista antes de la finalización del año 2023. Esta norma cumplirá con los compromisos que España mantiene con la Comisión Europea en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Se basa en 4 pilares básicos: movilidad como derecho social, movilidad limpia y saludable, sistema de transporte digital e innovador e inversión al servicio de los ciudadanos. (IV Observatorio de la Movilidad Sostenible, 2023).

También cabe hacer mención a las Zonas de Bajas Emisiones (ZBE) introducidas en la Ley estatal del cambio climático y transición energética (Ley 7/2021). Mediante la delimitación de ciertos espacios intraurbanos, y la restricción del tránsito de vehículos de combustión, se pretende mejorar la calidad del aire y la salud, mitigar el cambio climático y facilitar la transición hacia una movilidad más sostenible y eficiente. De carácter obligatorio para las ciudades de más de 50.000 habitantes, y de 20.000 para las

que superen los niveles máximos de contaminación, la ciudad de Zaragoza la implementó de forma provisional este 2023.²

En el caso de Zaragoza también destaca el reciente desarrollo de la iniciativa *Mobility city*. Se trata de un proyecto de relevancia internacional, de la Fundación Ibercaja y el Gobierno de Aragón, cuyo objetivo es el de ser punto de encuentro e impulso de la innovación en materia de movilidad y tecnología (<https://www.mobilitycity.es/>).

También destaca el papel de la Cámara de Comercio, Industria y Servicios de Zaragoza (Cámara de Zaragoza), que ha abierto una Oficina de Promoción de la Movilidad Eléctrica y conectada (OPME-c), en la que el autor del presente trabajo realizó sus prácticas.

La Cámara de Zaragoza es una corporación pública de derecho privado cuya misión es la de representación, promoción y defensa de los intereses generales los servicios y la industria en la provincia de Zaragoza. Dentro de la misma, la OPME-c es un servicio cuyo objetivo es ser punto de encuentro entre el tejido industrial y comercial, la ciudadanía y las instituciones en materia de movilidad eléctrica, para potenciar y promover las diferentes iniciativas que surjan en la ciudad de Zaragoza y su ámbito metropolitano. Se creó en 2019 mediante la colaboración entre el Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza y la Cámara de Zaragoza.

En el marco de las citadas prácticas curriculares realizadas por el autor en la OPME-c, a principios de 2023 quedó cumplimentada la base de datos sobre las estaciones de carga para vehículos eléctricos³, en la que se recogen los siguientes atributos: nombre, coordenadas, dirección, emplazamiento, nº de enchufes, tipo de conector, potencia y velocidad de carga, uso, precio, horario, contacto y estado (Royo Vicente, J. 2023).

2.3. Objetivos del Trabajo fin de grado

La meta del presente Trabajo fin de grado es mejorar el conocimiento de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos en la ciudad de Zaragoza. En concreto nos planteamos tres objetivos principales:

² La ZBE de Zaragoza comprende el espacio interior entre las calles Paseo Echegaray, San Vicente de Paúl, Coso, Conde Aranda y Mayoral (Gobierno de Aragón, 2022).

³ Se exceptuó la infraestructura de carácter particular por la imposibilidad de acceder a datos.

- 1.** Estudio de la dinámica temporal de las estaciones de carga en el periodo 2020-2023 y difusión espacial urbana de las mismas en la ciudad de Zaragoza.
- 2.** Caracterización de las estaciones de carga actuales, tanto es sus principales atributos técnicos como espaciales: número de cargadores por estación, potencia-tiempo de carga y emplazamientos.
- 3.** Estudio de los factores de localización de las estaciones de carga y delimitación de sus áreas de influencia para evaluar la cobertura que prestan a la ciudad y realizar propuestas de optimización de la red.

3. LAS ESTACIONES DE CARGA PARA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA. CARACTERIZACIÓN, EVOLUCIÓN Y DISTRIBUCIÓN POR EL ESPACIO URBANO

Uno de los aspectos más determinantes en la transición hacia la movilidad eléctrica es el de la estrecha relación existente entre los vehículos de propulsión alternativa y la infraestructura de transporte necesaria para posibilitar su uso. El impulso en el nuevo parque móvil debe acompañarse de una óptima red de estaciones de carga, conllevando un enorme reto tanto para los fabricantes, instituciones y usuarios. Resultan especialmente problemáticos los múltiples factores intervinientes y las aceleradas pretensiones en su implementación.

3.1. Elementos para la caracterización de las estaciones de carga

Es imprescindible determinar en qué consiste la infraestructura eléctrica, su utilización en el trabajo y la terminología empleada. Se ha optado por usar con carácter general las “estaciones de carga para vehículos eléctricos” (traducción literal de la denominación inglesa más extendida “*electric vehicle charging station*”⁴). Estas corresponden a la infraestructura general, pudiendo encontrar diversos tipos de estaciones según el número de cargadores⁵ con los que cuenta.



Fotografía 1: estación de carga con 4 cargadores. Fuente: Iberdrola.

⁴ Para los autores hispanohablantes “puntos de recarga” o “electrolineras”.

⁵ Conocidos vulgarmente como “enchufes”.

Con carácter general puede afirmarse que la capacidad de servicio de una estación aumenta con el número de cargadores, de modo cuantos más cargadores tiene una estación a más usuarios puede proveer simultáneamente, y a la inversa.

En lo relativo a las características de la infraestructura destaca la gran diversidad existente y carencia de estandarización. Por lo que respecta a la potencia, existen 6 tipos de cargadores principales en el mercado europeo⁶, asociados a potencias y tiempos de cargas distintos, por lo que el menor o mayor tiempo necesario para la carga de los vehículos dependerá de la potencia del cargador. Con carácter general pueden definirse los siguientes rangos de variabilidad⁷:

- Potencia <7,4 kW - tiempo entre 8 y 10 horas (carga lenta).
- Potencia de 22 kW - tiempo entre 1,5 y 3 horas (carga semirápida).
- Potencia de 50 kW - tiempo entre 40 y 50 minutos (carga rápida).
- Potencia entre 100-150 kW - tiempo entre 10 y 20 minutos (carga super-rápida).
- Potencia >150kW - tiempo entre 5 y 10 minutos (carga ultrarápida).

Por lo que respecta al emplazamiento (o localización) habitual de las estaciones de carga, diferenciamos entre los particulares y las no particulares. En el primer caso las estaciones se encuentran en propiedades residenciales y son siempre de uso privado. En el segundo caso las estaciones se localizan en establecimientos a los que es habitual o posible acceder mediante vehículo. Predominan las ubicaciones en empresas privadas como gasolineras, parkings de pago, tiendas y hoteles. En menor medida, aunque con reciente aumento, las encontramos en espacios públicos como centros de enseñanza y hospitales.

Cabe destacar que en el presente estudio únicamente se han tenido en cuenta las estaciones de carga general, por la imposibilidad de acceder a información de las particulares.

⁶ Estos son: Schuko, Tipo 1, Tipo 2, CCS, CHAdeMO y Tesla.

⁷ Suponiendo que las baterías de los vehículos eléctricos son de 40 kW de capacidad, como es habitual recientemente, y para cargas totales del 80%.

3.2. Factores de la evolución del parque de estaciones de carga

3.2.1. Factores desde el lado de la demanda

La bibliografía consultada (EDIVE y *Mobility city*, 2023) es bastante unánime al relacionar la evolución del número de estaciones de recarga con la del parque de eléctrico. Con respecto a las variables que influyen en la demanda de vehículos por parte de los consumidores, destaca con un mayor peso la funcionalidad por encima de la sensibilización ambiental. Los principales incentivos para la movilidad eléctrica son el ahorro económico en los desplazamientos debido al menor precio del kilovatio/hora con respecto al combustible fósil (Noya, C. 2022). A pesar de que ambos son fluctuantes en el tiempo, el precio de la electricidad siempre se ha mantenido por debajo. Este factor es espacialmente relevante en la electrificación de los servicios públicos urbanos como los autobuses y los taxis.

También influyen las cada vez mayores restricciones al uso de los vehículos de motor térmicos por la descarbonización de la movilidad promovida por las instituciones. Ejemplo de ello son las diversas ratificaciones nacionales a las Directivas Europeas, como las relativas a la implementación de la infraestructura para los combustibles alternos (Directiva 2014/94) y a la promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes (Directiva 2019/1161) (**apartado 2.1**). También la Ley estatal del cambio climático y transición energética (Ley 7/2021) y la implementación de las Zona de bajas emisiones, aunque “Medidas como estas van a depender muchísimo de cada ciudad” (Larrodé, E. 2023). Todas ellas promueven una demanda cada vez mayor de electrificación del parque móvil urbano.

En cuanto a los desincentivos en la adquisición destaca el elevado precio, lo que disuade de la compra por tratarse de un bien prescindible y, por tanto, con una demanda elástica. No obstante, según las encuestas realizadas por la Asociación de Usuarios de Vehículos Eléctricos (AUVE, 2022), no sólo se demandan por clases sociales altas, si no también, por las de renta media. Otros factores que afectan negativamente a la demanda son los complejos trámites necesarios para recibir subvenciones por la compra de vehículos eléctricos y la incertidumbre normativa en el sector del automóvil (Artigot, D. 2023).

Cabe manifestar la existencia de gran variabilidad en los factores de la demanda como representa el **mapa 1**, mostrando gran influencia en los países del norte y dentro de Europa frente a los del este. España se encuentra en una posición intermedia en la adquisición eléctrica en el contexto de la U.E., con una cuota del mercado que oscila entre el 10 y el 15% sobre el total de vehículos en los últimos años (*European Automobile Manufacturers' Association, 2023*).

3.2.2 Factores desde el lado de la oferta

Existe interrelación entre los factores de la demanda vistos en el anterior apartado y los que se tratarán en el presente debido a la gran importancia que tiene la disponibilidad de una óptima red de estaciones de carga en la adquisición de vehículos eléctricos. “La terminología ansiedad por rango describe la situación en la que los propietarios de vehículos eléctricos están preocupados por agotar la batería de su vehículo eléctrico durante un viaje. Por lo tanto, para satisfacer las demandas de todos los compradores potenciales, es necesario hacer crecer la red de carga de manera inteligente” (Sims, O. 2022).

Por ello es importante considerar los factores que influyen específicamente en la oferta de estaciones de carga para los vehículos eléctricos, entre los que destaca fundamentalmente el apoyo institucional hacia este nuevo modelo de movilidad en el contexto de lucha y adaptación al cambio climático tratado anteriormente. “Un desafío central en la transición a vehículos eléctricos sigue siendo la falta de una infraestructura de carga pública adecuada” (Anderson et al, 2018).

A escala de la Comunidad Autónoma de Aragón, se ofrecen ayudas directas en la compra, renting e instalación de estaciones de carga, mediante el plan “MOVES III: incentivos a la movilidad eficiente y sostenible” en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Europeo (Real Decreto 266/2021, Ayudas del Plan MOVES III).

En cuanto al apoyo público local, el Ayuntamiento de Zaragoza promueve la instalación de nuevas estaciones de carga mediante licitaciones recurrentes para que las empresas lleven a cabo esta infraestructura. Por ejemplo, en el año 2022 se concesionó la

instalación y explotación de 37 nuevas estaciones de carga en espacios de dominio público en el término municipal, que se materializarán durante el 2023.

Por último, en lo relativo a los factores de oferta privados, los fabricantes y las empresas de alquiler de vehículos tienen cada vez más en cuenta la transición en la movilidad rodada por las restricciones para la descarbonización promovidas por la Unión Europea, diversificando su oferta.

No obstante, existen circunstancias que frenan la oferta de vehículo eléctrico. Estas son la incertidumbre en el sector automovilístico ante el cambio productivo y normativo, y los complejos trámites necesarios para la instalación de las infraestructuras requeridas.

3.3. Factores de la distribución espacial de estaciones de carga en áreas urbanas

Como se ha introducido en apartados anteriores, la transición hacia la movilidad sostenible no sólo requiere la adopción del vehículo eléctrico, si no que, también, esté acompañada de la implantación de una red de estaciones de carga pública suficiente en número y espacialmente bien distribuida. El desarrollo óptimo de este tipo de infraestructura estimula la demanda por parte de los usuarios, además de favorecer el desarrollo tecnológico por parte de los proveedores. (Csiszár, C. et al, 2020). Se trata de un tema crucial, abordado por numerosos estudios previos a diversas escalas de análisis. Para el presente TFG, situado en un espacio urbano, se han tomado como referencia las consideraciones sobre localización de la infraestructura de carga eléctrica de Carlton y Sultana, (2022) y Sims (2022).

Gregory J. Carlton y Selima Sultana, en su estudio sobre la región de Chicago, destacan como factores de localización la accesibilidad y los usos del suelo intraurbanos de las estaciones de carga: “La combinación de usos de la tierra y la accesibilidad al transporte se han indicado como impactos significativos en el comportamiento de los viajes”. Por su parte, Obed Sims utiliza el flujo de tráfico y usos del suelo para la ciudad de Manchester: “...gran importancia a la información geográfica, como el flujo de tráfico, la carga de vehículos eléctricos existentes, las posibles ubicaciones de estacionamiento para los cargadores y la clasificación del uso del suelo”.

De los factores propuestos por los autores citados, para el caso de la ciudad de Zaragoza se ha decidido utilizar con carácter analítico el tráfico de vehículos. El motivo es que se prevé que la causa más influyente en la instalación de estaciones de carga es la cantidad de vehículos, intensidad del tráfico rodado, que discurre por un eje de transporte o nodo concreto. También creemos que la organización de los usos del suelo influye en las posibilidades de emplazamiento de las estaciones, aunque consideraremos este factor de forma descriptiva por encontrarnos en un espacio urbano donde el uso dominante es el destinado a los servicios. La accesibilidad ha quedado descartada por su complejidad para el presente TFG.

A parte de los factores de localización de referencia bibliográfica mencionados, se ha considerado necesario incorporar el estudio analítico de la densidad de población y la renta del hogar. Eso se debe a que uno de los motivos que condicionan el lugar de instalación son los espacios de origen de los desplazamientos en vehículo de la población, en especial de los demandantes de movilidad eléctrica. Destaca fundamentalmente la densidad de población y la renta de la misma ya que la transición energética y la necesidad de este nuevo tipo de movilidad hace que cada vez más personas opten por la misma. Se espera que estos factores resulten concluyentes en la explicación de la localización.

El destino de los desplazamientos es también relevante, aunque por la dificultad en su determinación no se ha tenido en cuenta para el presente trabajo. Suelen considerarse aquellos referentes a los lugares de trabajo externos a la propia ciudad, como los centros comerciales, parques empresariales o polígonos industriales. También las zonas turísticas del interior urbano, así como el centro por su mayor accesibilidad.

4. METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para alcanzar los objetivos del TFG se han llevado a cabo tres tipos de análisis: evolución y difusión de las estaciones de carga por Zaragoza y su término municipal durante el periodo 2021-2023, caracterización de las estaciones que integran la red de 2023, e identificación de los factores de localización de las estaciones en el espacio urbano y evaluación de la cobertura que prestan al mismo.

El estudio de la evolución cuantitativa y espacial se ha realizado con el análisis y la representación cartográfica de los datos de la base elaborada en las prácticas mencionadas (Royo, J. 2023). Estos fueron obtenidos de las siguientes fuentes y visores cartográficos: *OPMEc*, *ElectroMaps* y *ChargingBox*, *EndesaApp* e *HiberdrolaApp*. Se han actualizado los datos existentes de los años 2021 y 2022 al 2023, y mejorado la misma mediante la inclusión de nuevos atributos temáticos como el estado funcional en el que se encuentran.

El estudio de la caracterización para el año 2023 se elaboró mediante el análisis y la representación cartográfica de la misma base de datos, enfocándonos en las características de las estaciones: número de cargadores, potencia y tiempo de carga máximo por estación y emplazamiento de las mismas.

Posteriormente se procedió a la realización de diferentes cálculos estadísticos, tanto descriptivos como analíticos mediante el software de cálculo Excel. Paralelamente, y mediante el uso del Sistema de Información Geográfica ArcGIS, se trataron espacialmente los datos y se realizaron diferentes operaciones de estadística espacial.

En lo relativo a la tercera parte del análisis se elaboraron mapas de las estaciones y de los hipotéticos factores de localización para una valoración inicial de su relación con la distribución de las estaciones de carga. Para llevarla a cabo se recurrió a los datos abiertos proporcionados por el Ayuntamiento de Zaragoza en relación con la densidad y renta de la población por juntas municipales y vecinales, y con el tráfico de vehículos por cinturones urbanos. Para este último fue necesaria la interpolación de los aforos puntuales mediante el método IDW (distancia inversa). Esta técnica también se utilizó para la realización previa de la densidad de estaciones.

Para confirmar las relaciones sugeridas por la cartografía se llevó a cabo un análisis de correlación encaminado a la comprobación de las siguientes hipótesis:

-Hipótesis 1: correlación positiva alta entre las juntas más densamente pobladas y el mayor número de estaciones de carga.

-Hipótesis 2: correlación positiva alta entre las juntas de renta por hogar y la cantidad de estaciones de carga.

-Hipótesis 3: correlación positiva muy alta entre los espacios de mayor intensidad en el tráfico de vehículos y el número de estaciones de carga.

Para ello, se eligió el Coeficiente de correlación de Pearson (r de Pearson)⁸, con el fin de determinar el grado de asociación espacial entre las distribuciones de las estaciones de carga y las de las tres variables explicativas.

Finalmente se crearon los Polígonos Thiessen, o Teselas de Voronoi, con el objetivo de delimitar geoméricamente las áreas de influencia de las estaciones de carga. Se realizan mediante el trazado de mediatrices en los segmentos de unión de las estaciones, creando polígonos con perímetros equidistantes a las estaciones vecinas.

Cabe destacar la representación visual de los resultados obtenidos mediante numerosos mapas y gráficos.

⁸ Precisa que la variable dependiente “ y ” presente una distribución normal, comprobándose mediante el Test de Shapiro-Wilk (valor superior a 0,05). La segunda fase consiste en el cálculo de Pearson, con un rango de correlación entre valores de “ r ” comprendidos entre -1 y 1. Cuanto más se aproxima a la unidad mayor será su correlación, y viceversa. El signo nos indicará si lo hace de forma positiva o negativa.

5. ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE MOVILIDAD ELÉCTRICA EN ZARAGOZA

Como ya se ha expuesto, el diagnóstico espacial de las estaciones de carga para vehículo eléctrico se realizará a través de dos fases, previa presentación del espacio de trabajo. La primera, de descripción, incluye la evolución espaciotemporal y la caracterización de la infraestructura (**apartados 5.2 y 5.3**). La segunda, de explicación y valoración, contiene la comprobación de las hipótesis que intervienen de su localización y la evaluación de la cobertura prestada al territorio (**apartados 5.4 y 5.5**). Como apartado inicial incluimos una breve presentación del espacio de estudio.

5.1. Presentación de Zaragoza como marco del estudio

La distribución de las estaciones de carga para vehículo eléctrico se concentra en los grandes núcleos urbanos y principales ejes de comunicación. En el contexto de la C.A. de Aragón, la capital aragonesa agrupaba el 53,04% del total en el año 2022. Por el mencionado motivo se eligió la ciudad de Zaragoza como espacio de trabajo, excluyendo su entorno funcional.

Con 694.109 habitantes, Zaragoza posee una ubicación central en la C.A. de Aragón y en el sector de mayor dinamismo económico de España, noreste, a aproximadamente 300 kilómetros de Madrid, Bilbao, Toulouse, Barcelona y Valencia. Por ello, y en lo relativo al transporte, destaca por su importancia como nudo logístico.

Intrínsecamente, el espacio urbano de Zaragoza responde a un modelo urbano compacto propio de la ciudad mediterránea, con una organización espacial en forma de estrella, que ha propiciado su crecimiento siguiendo las principales vías de comunicación con el exterior (ejes de Logroño al oeste, de Barcelona al este, de Huesca al norte y de Madrid y Valencia al sur).

De ahí su potencial para constituir un ejemplo óptimo del modelo de “ciudad de los 15 minutos” y para la sostenibilidad en su movilidad. No obstante, cabe destacar que el parque móvil eléctrico, o enchufable, es ínfimo en comparación con el total de vehículos matriculados, con tan solo el 0,38% en el año 2021 (Ayuntamiento de Zaragoza).

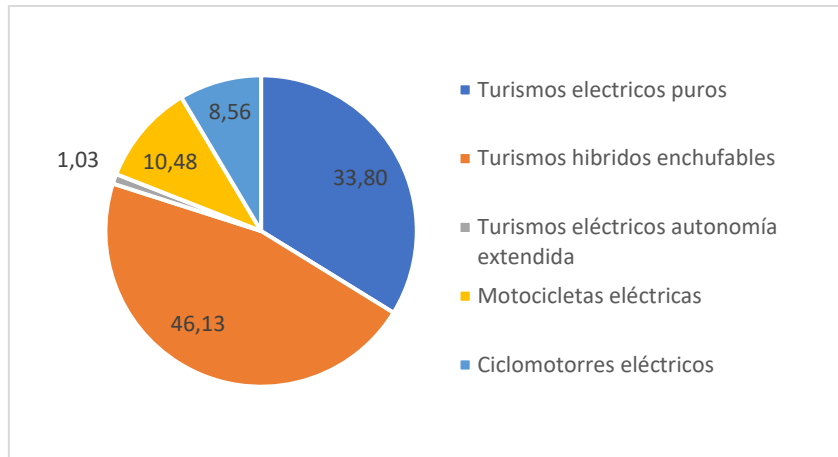
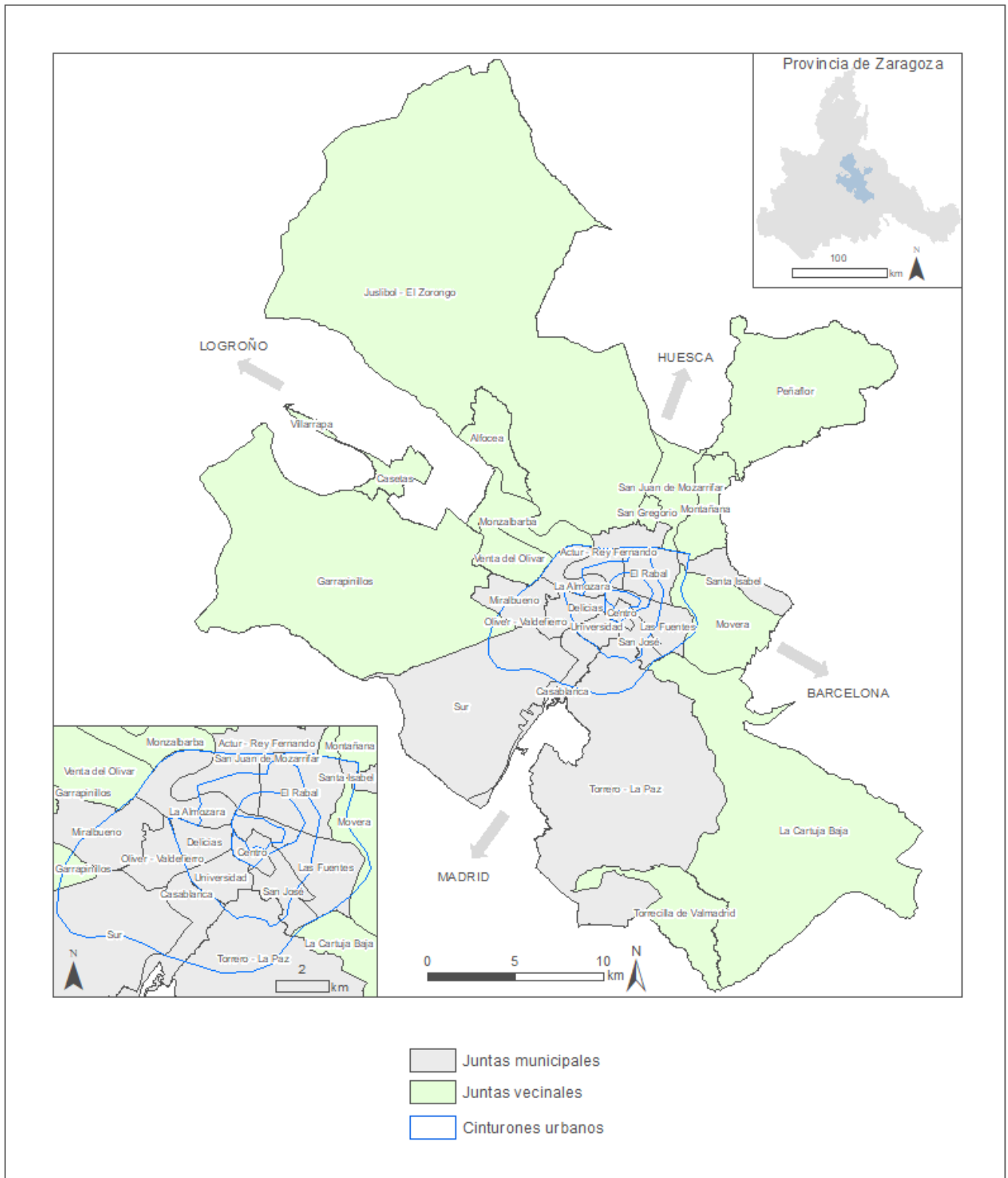


Gráfico 1: Parque vehículo eléctrico, Zaragoza, 2021.

Fuente: Ayuntamiento de Zaragoza.

De cara al análisis que sigue conviene tener en cuenta que el término municipal de Zaragoza es muy extenso (968,68 km²) y que en él se distinguen con claridad dos tipos de barrios o de áreas urbanas: los 15 que constituyen la parte urbana de dicho término y a los que Ayuntamiento de la ciudad denomina “juntas municipales” y los 14 que se distribuyen por la amplia periferia rural, denominados “juntas vecinales” (**mapa 3**)



Mapa 3: Término municipal de Zaragoza.

5.2. Dinámica temporal y difusión espacial de las infraestructuras estudiadas

En los últimos años se ha acelerado la construcción de estaciones de recarga para vehículo eléctrico, quedando notablemente reflejado en la evolución temporal observada entre los años 2021 y 2023 en Zaragoza. Este reducido periodo de estudio se debe a la tardía realización de bases de datos completas por parte de entidades independientes a las propias empresas proveedoras del servicio.⁹

En el **gráfico 2**, puede observarse cómo ha aumentado el número de estaciones de carga con un incremento total del 56,25% en el periodo estudiado. Cabe destacar que el mayor aumento se produjo en el último año con un incremento del 45,63%, frente al 10,63% del primer año. Este fenómeno viene explicado por los factores de oferta y demanda de movilidad eléctrica tratados en el **apartado 3.2**.

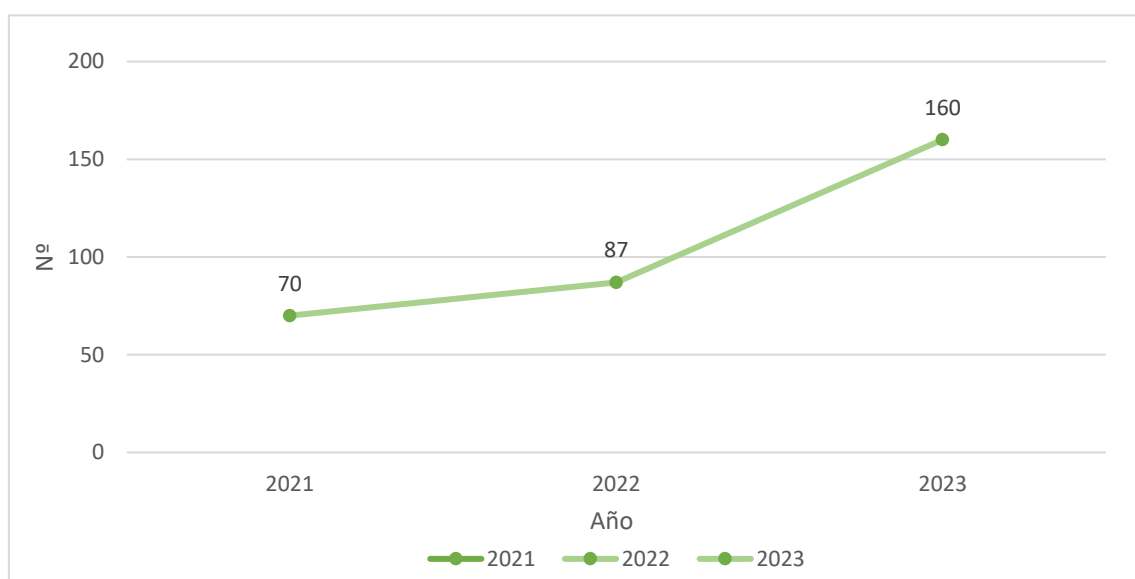


Gráfico 2: Evolución de estaciones de carga para vehículo eléctrico.

El reparto de las estaciones por juntas municipales y vecinales indica que en la mayoría ha aumentado el número de estaciones, principalmente en el último año, con reducidas diferencias entre los dos primeros (**gráfico 3**). El Rabal es la junta con un mayor número de estaciones, 22, seguida por el Casco histórico, el Centro y Torrero-La Paz, que tienen

⁹ Son realizadas en exclusividad por la Oficina de Promoción de la Movilidad Eléctrica y conectada (creada en el año 2019) de la Cámara de Comercio, Industria y Servicios de Zaragoza, en colaboración con la Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza.

en torno a 15. Las demás juntas con números significativos de estaciones son todas juntas municipales, es decir, corresponden a barrios de la ciudad compacta. Por su parte, las juntas vecinales de los barrios rurales son las que menor cantidad y variabilidad temporal de estaciones presentan, con La Cartuja Baja, Movera y San Juan de Mozarrifar con una única estación. Las 9 no representadas en el gráfico (Alfocea, Casetas, Juslibol-El Zorongo, Montañana,-Monzalbarba, Peñaflor, San Gregorio, Torrecilla de Valmadrid y Villarrapa) no poseen ninguna.

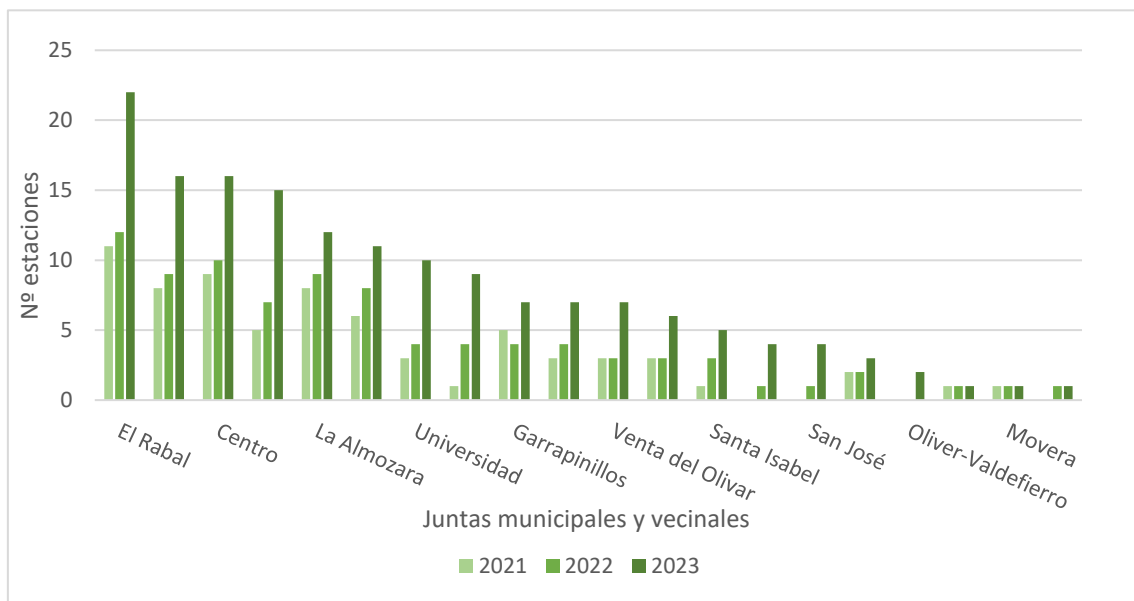


Gráfico 3: Evolución de las estaciones de carga por Juntas.

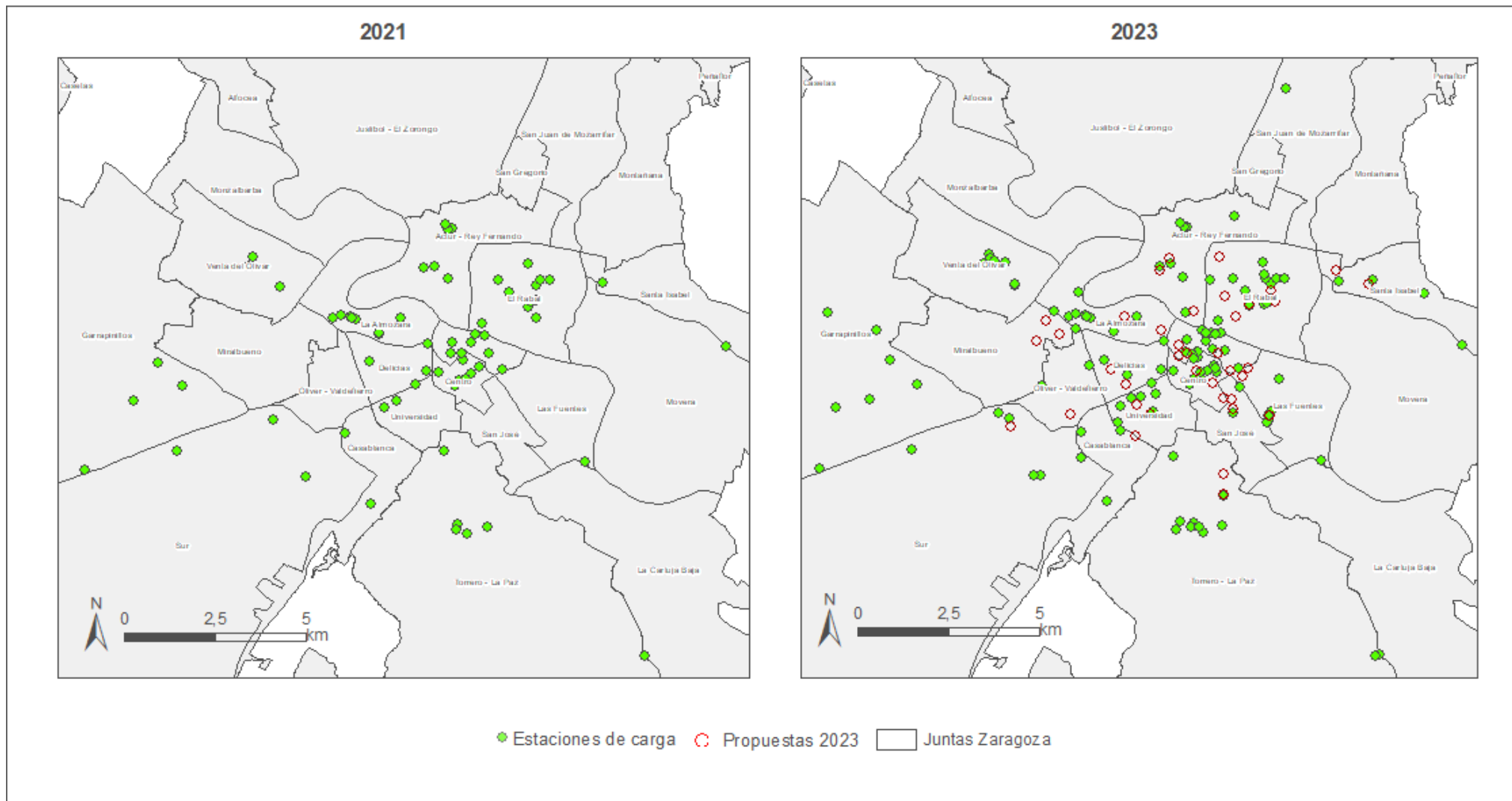
Con respecto a la evolución espacial, el **mapa 4** refleja una importante difusión de las estaciones en el corto periodo de referencia.

Inicialmente se ubicaban en las juntas centrales de la ciudad, como el Casco histórico y el Centro, por la gran accesibilidad que aporta la centralidad a estos espacios. De hecho, estas zonas son destino de la mayor parte de los flujos de movilidad por la concentración de actividades terciarias como las compras especializadas, el ocio y turismo, y las labores administrativas y de oficina.

También se observa un aumento de la presencia de estaciones de carga en las principales vías de comunicación de transporte rodado de la ciudad, tanto internas como con el exterior, por constituir los espacios con un mayor tránsito de vehículos. Entre ellos

destaca el eje de Madrid y el de Logroño, que se prologan hasta el interior de la ciudad. Conectado con estas zonas destacan los polígonos industriales por la concentración empresarial, destacando la Plataforma logística de Plaza-

Actualmente, se ha intensificado la localización de estaciones en dichos espacios, pero, además, se han reducido algunos de los vacíos existentes de la infraestructura, consiguiendo una red más homogénea. Cabe destacar que, a pesar de las 37 estaciones de carga propuestas para el año 2023 que licitó el Ayuntamiento de Zaragoza, la red existente sigue sin ser suficiente, como veremos en el **apartado 5.5**.



Mapa 4: Evolución de las estaciones de carga para vehículo eléctrico.

5.3. Caracterización de las estaciones: número de cargadores, potencia-tiempo de carga y emplazamientos

Atributos temáticos relevantes para la caracterización son el número de cargadores, la potencia-velocidad de carga máxima por estación y su emplazamiento.

A pesar de que tiene una importancia relativa actualmente, el número de cargadores con los que cuenta cada estación de carga será fundamental ante el aumento de la demanda de la movilidad eléctrica. En el **gráfico 4** destaca que la gran mayoría de estaciones cuentan con un número reducido de cargadores, siendo su capacidad deservicio reducida teniendo en cuenta las perspectivas futuras.

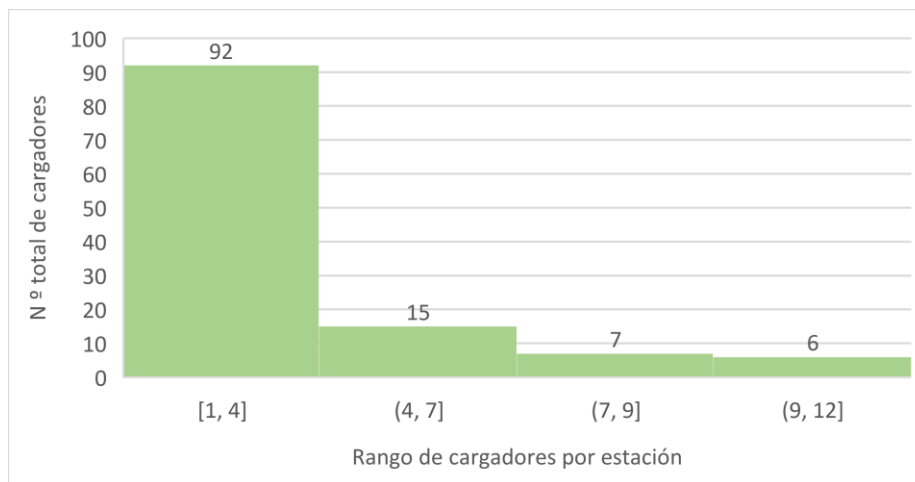


Gráfico 4. Histograma del número de cargadores por estación.

En la parte izquierda del **mapa 5**, puede observarse como el mayor número de cargadores por estación, con un máximo de 12, se encuentra en los espacios centrales y periféricos en torno a las principales vías de entrada/salida de la ciudad por la mayor demanda existente, por contraposición los de menor cantidad ocupan los espacios intersticiales.

Por lo que respecta a la potencia máxima que tienen los cargadores por estación, medida en kilovatios, y el tiempo de carga asociada¹⁰, la mayoría son de baja potencia (ver

¹⁰ Suponiendo que las baterías de los vehículos eléctricos son de 40 kW de capacidad como es habitual recientemente y para cargas totales del 80%.

Gráfico 5) lo que conlleva tiempos de recarga de hasta 10 horas y una importante dificultad logística en la movilidad eléctrica.

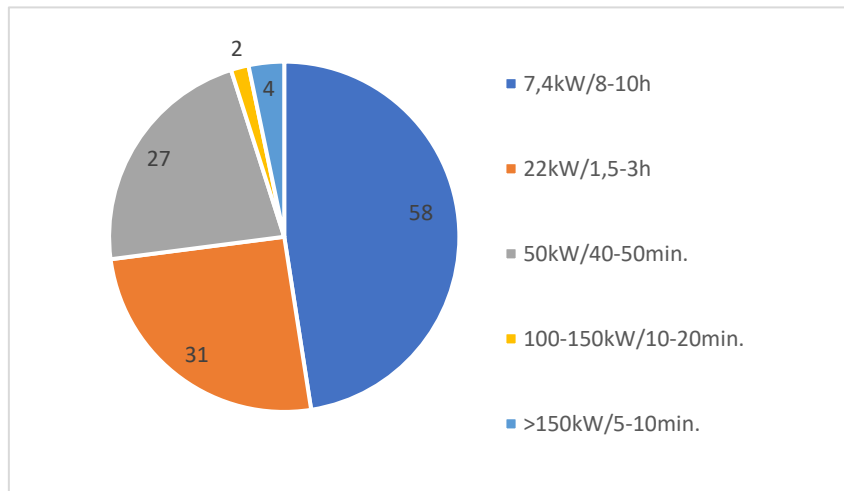
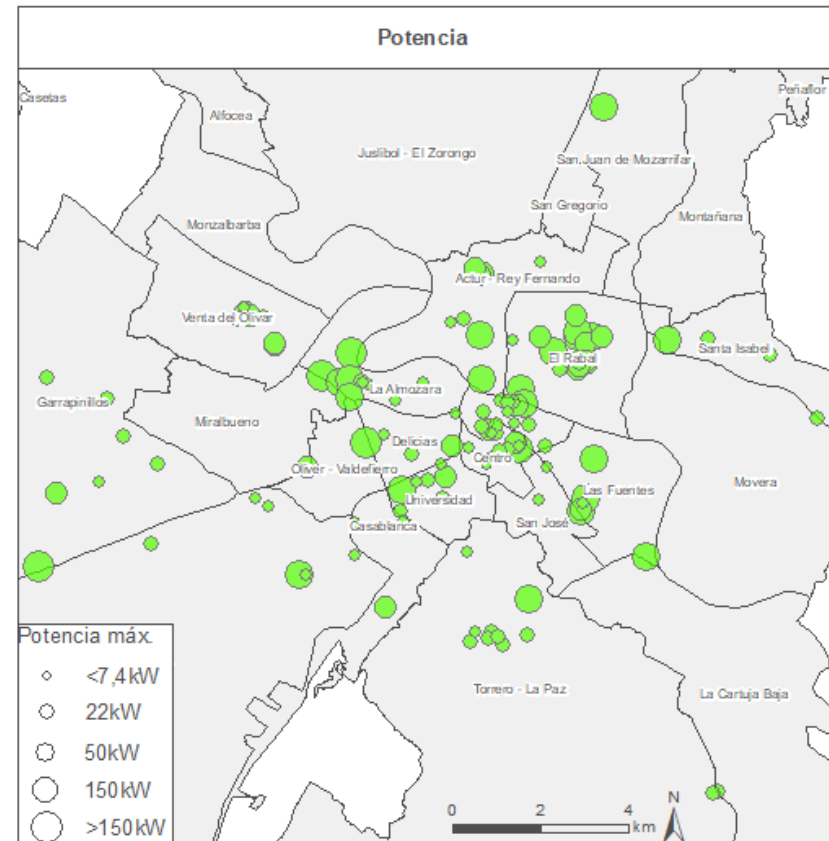
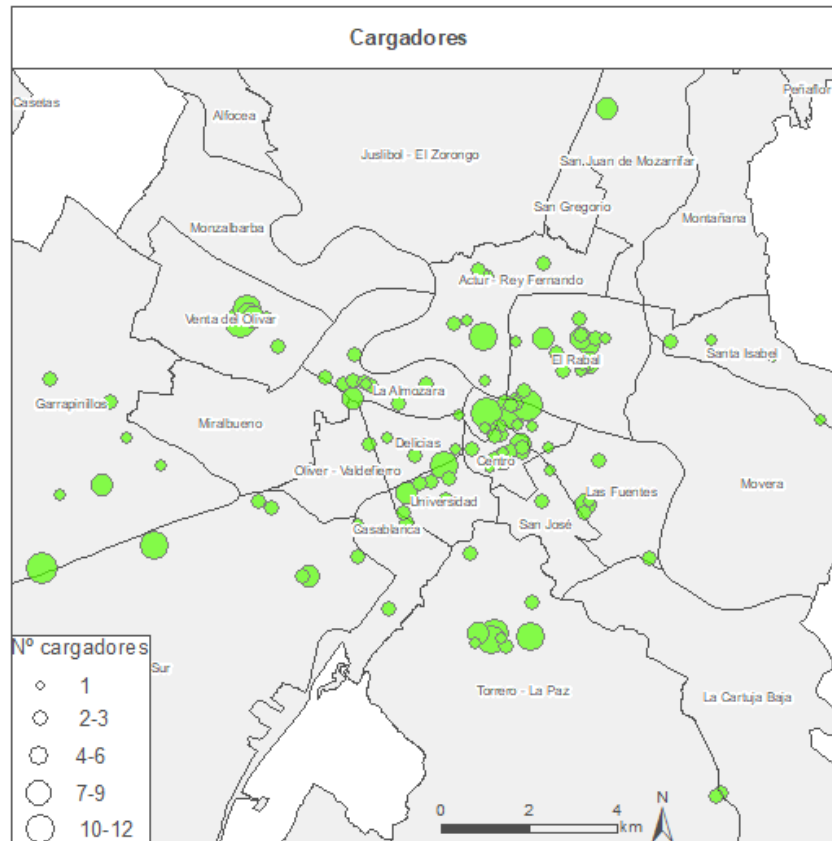


Gráfico 5: Potencia-velocidad máx. de carga por estación.

A la derecha del **mapa 5** se representa la potencia máxima que tienen los cargadores por estación. La velocidad más baja y demanda, inferior a los 10 minutos, es escasa y se localiza principalmente en la periferia de las juntas de La Almozara y de El Arrabal, por contar con núcleos empresariales-industriales y subestaciones eléctricas propias que les proveen de la energía necesaria, así como en los principales ejes de comunicación.



● Estaciones de carga

Mapa 5: Cargadores y potencia de carga de las estaciones.

La última y más importante de las tres características o atributos que contemplamos es el emplazamiento de las estaciones de recarga. El tipo utilizado en la presente caracterización es el no particular, tanto público como privado (**apartado 3.1**).

El tipo de emplazamiento más recurrente es en gasolineras, parkings, tiendas y supermercados, con valores comprendidos entre 21 y 15 estaciones de carga en este tipo de lugares, hecho esperado teniendo en cuenta que son ubicaciones que facilitan este servicio a los propios vehículos con los que acostumbran a desplazarse sus usuarios (**gráfico 6**).

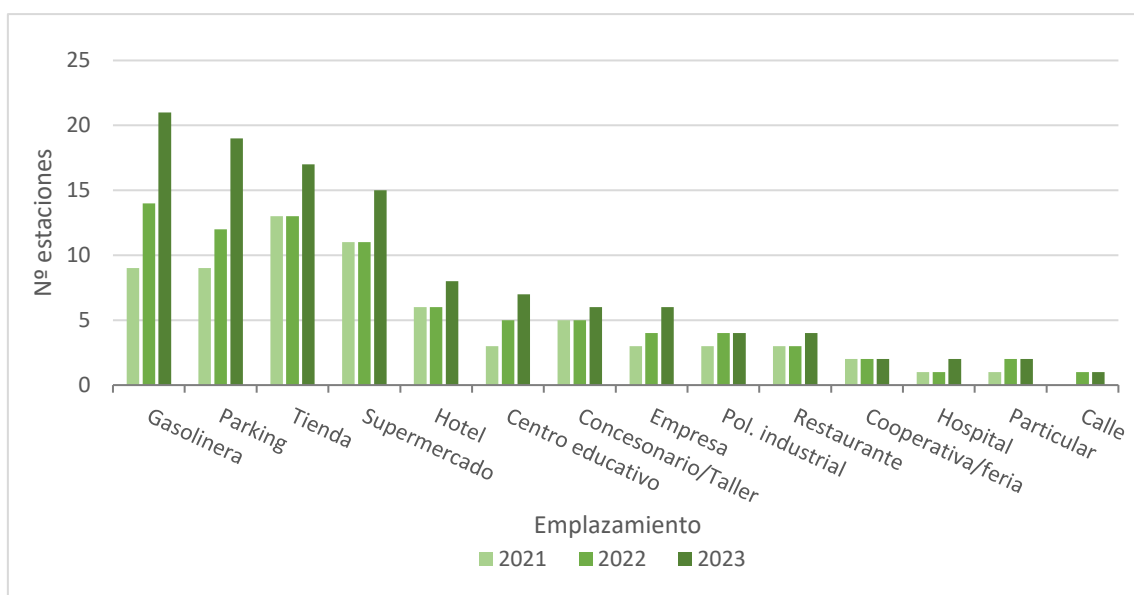


Gráfico 6: Evolución de las estaciones de carga por localización

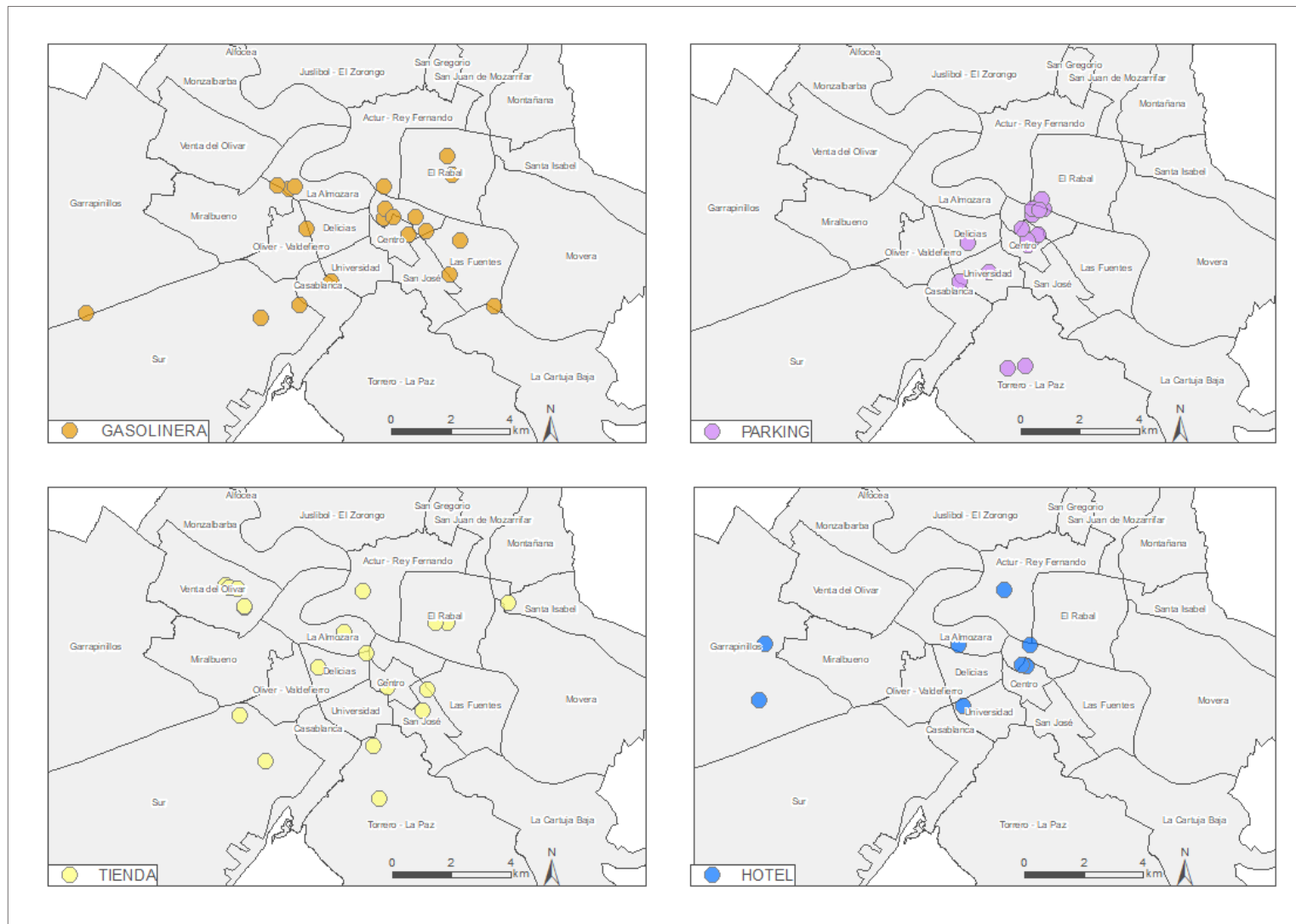
Se ha representado espacialmente los emplazamientos más habituales en el **mapa 5**. En cuanto a su distribución, y por orden de mayor a menor representatividad destacamos lo siguiente:

-Gasolineras: ocupan espacios centrales y periféricos siguiendo algunas de las salidas de la ciudad. Se trata de una distribución deseable pero todavía incompleta en muchos de los ejes. Se espera un crecimiento en forma de estrella.

-Parkings: gran concentración en el centro urbano y de forma secundaria en el Centro comercial Puerto Venecia. Ubicación idónea por tener en cuenta el destino de la movilidad.

-Tienda (incluye supermercados): conforma la red más homogéneamente repartida por el espacio. Destaca fundamentalmente por la elevada localización en supermercados Mercadona.

-Hoteles: aunque menos concentrada e incompleta, similar al caso de los parkings. Ubicación idónea por tener en cuenta el destino de la movilidad.



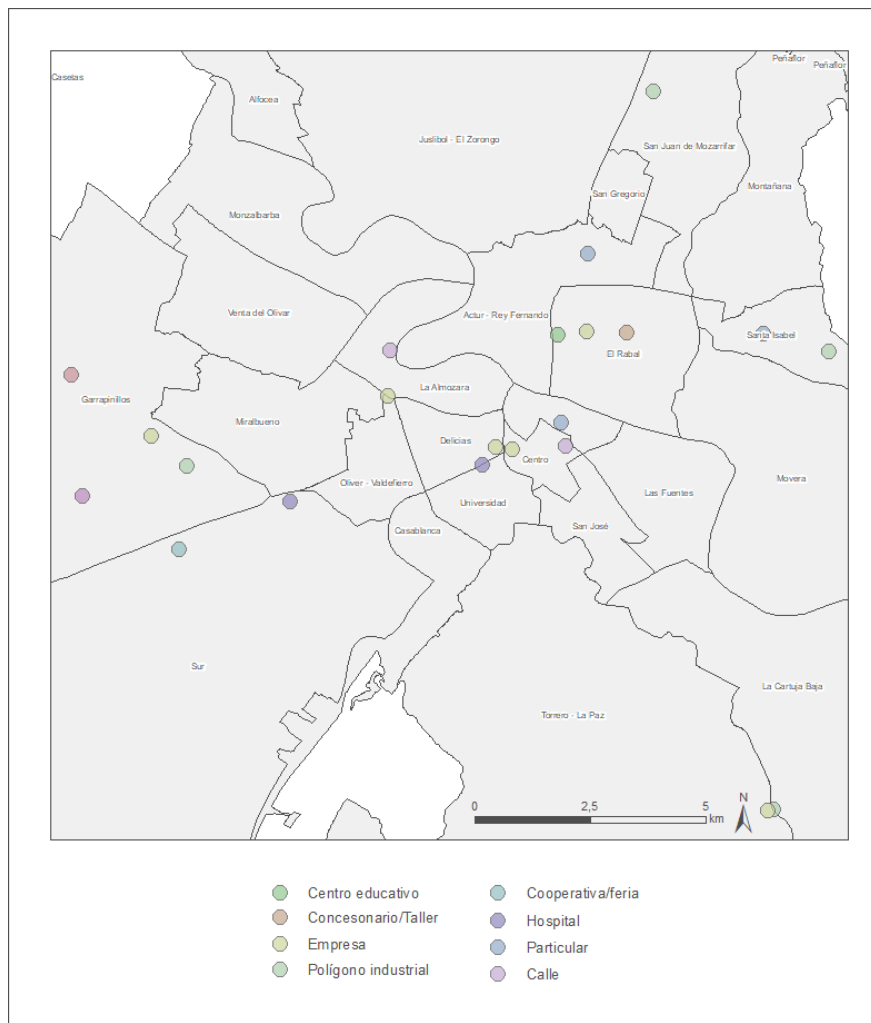
Mapa 5: Emplazamientos representativos de las estaciones de carga.

Con valores mucho más modestos, alrededor de 5, destacan otros espacios deficitarios de esta infraestructura por los motivos anteriormente expuestos, como lo son los concesionarios, talleres, empresas y los polígonos industriales.

Por último, las estaciones operadas por particulares¹¹ o que se encuentran en plena calle¹² tienen una presencia residual, quedando así reflejado que el emplazamiento dominante es aquel destinado a la provisión de servicios, no por parte de administraciones públicas, sino principalmente por empresas privadas.

Estos emplazamientos menos habituales quedan reflejados en su conjunto en el **mapa 6:**

6:



Mapa 6: Emplazamiento secundarios de las estaciones de carga.

¹¹ Aquellas de uso general ofertadas por particulares mediante aplicaciones móviles.

¹² Propiedad del Ayuntamiento de Zaragoza.

5.4. Análisis de la localización

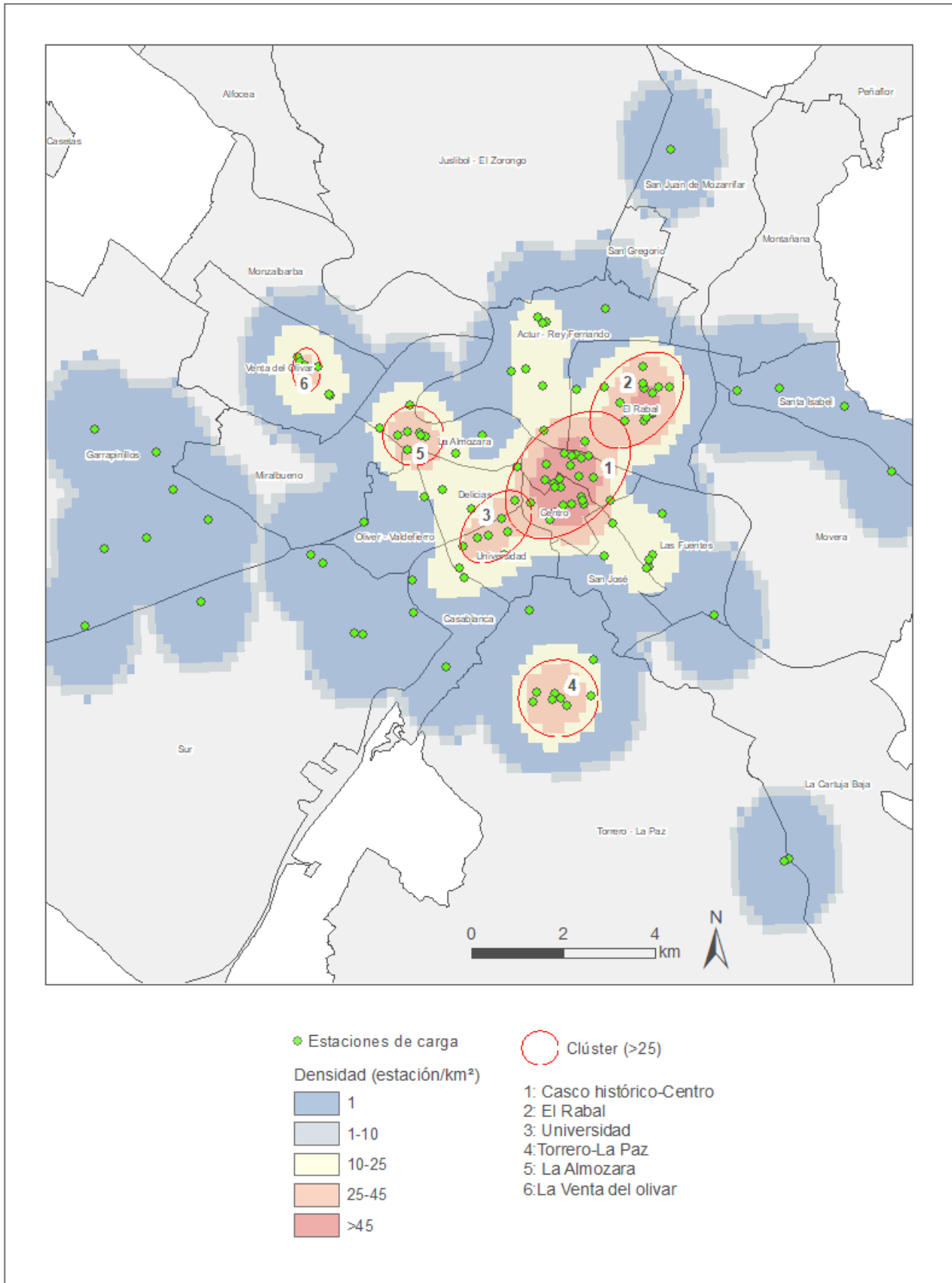
Una vez descritas la dinámica espaciotemporal y las características de las estaciones de carga para vehículo eléctrico, se continua con la fase de explicación de su localización y en concreto de su desigualdad, que se recoge en el **mapa 7**. Para ello, mostramos en primer lugar la intensidad de dicha desigualdad con notables contrastes entre espacios con concentraciones o clústeres de estaciones y otros en los que son escasos o carecen de ellos. Seguidamente exploraremos en qué medida esa dispar distribución se asocia a los factores seleccionados en el **apartado 3.3.**, es decir, densidad de población, renta e intensidad del tráfico.

Aunque en la bibliografía consultada (Carlton y Sultana, 2022; Sims, 2022) se le da mucha importancia al factor de los usos del suelo, su análisis resulta demasiado complejo para las posibilidades de este TFG. En todo caso este tema ha sido considerado indirectamente en la caracterización de las estaciones según tipos de emplazamientos, aportada en el **apartado 5.3.** al que remitimos.

5.4.1. Intensidad de la disparidad en la distribución espacial de las estaciones de carga en el espacio urbano

Se realizó una aproximación conceptual al agrupamiento de las estaciones mediante el cálculo de la densidad Kernel¹³. La desigual distribución del potencial para la carga de vehículos eléctricos en Zaragoza queda bien reflejada en el **mapa 7**.

¹³ Inicialmente se aplicaron dos análisis para la medición de la autocorrelación espacial: el Índice de Moran (0,142997) y el de Getis Ord G_i^* de puntos calientes (0,000379). Ambos han dado como resultado una distribución espacial no concluyente de los cargadores. Según estas técnicas, estos siguen una distribución aleatoria sin presencia de agrupamiento o *clúster*, tanto altos como bajos, ni de dispersión de los mismos.



Mapa 7. Densidad de estaciones.

En el mismo se hace patente el hecho de que la mayor parte del término municipal de Zaragoza o bien no cuenta con ninguna estación, o bien la densidad de las mismas es muy baja, de 1 estación por km².

Las mayores densidades, entre 10 y 75, se encuentran dentro del área más urbanizada de la ciudad y, en especial, ocupando superficies centrales. Destaca que la desviación estándar de las estaciones presente una distribución norte-sur en forma de elipse, aunque redondeada por la citada centralidad.

Se han identificado 6 clústeres altos (línea roja en el **mapa 7**) entendiéndose como tal las densidades superiores a 25 estaciones/km² por considerarse significativas teniendo en cuenta el análisis realizado.

Destaca, principalmente, el eje de agrupamiento compuesto por los clústeres del Casco histórico-Centro (1) como núcleo, y los de El Rabal (2) y Universidad (3) como prolongación exterior, siguiendo una dirección noreste-suroeste donde se alcanzan las mayores densidades de la ciudad.

Otros secundarios, pero igualmente considerables, se encuentran siguiendo algunas vías de comunicación con el exterior como el del eje de Logroño, compuesto por los agrupamientos de La Almozara (5) y de La Venta del olivar (6), y el de Torrero-La Paz (4) que complementa el eje del Huerva.

5.4.2. Factores explicativos: densidad de población, renta del hogar e intensidad del tráfico

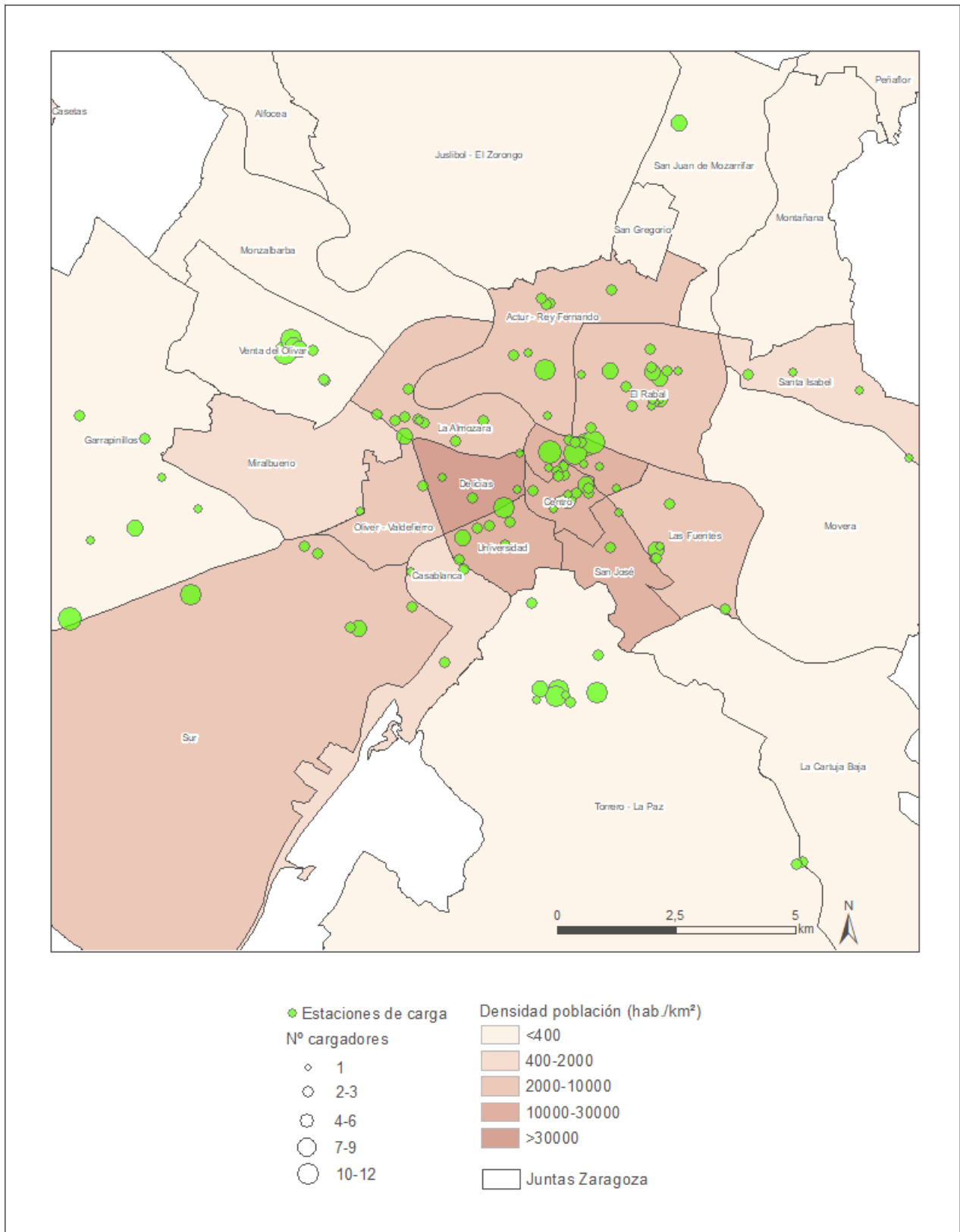
Como ya se introdujo al comienzo del capítulo se van a analizar los siguientes factores con los últimos datos disponibles:

- Lugar de origen de los vehículos eléctricos mediante la densidad poblacional por junta (2020).
- Relacionado con el origen, la renta media del hogar por junta (2016), por ser una de las variables más relevantes de la demanda de vehículos eléctricos (**apartado 3.2.1**).

-Espacio de tránsito de los vehículos mediante la intensidad media diaria del tráfico rodado del interior de la Z-40 (2022). Se obvia, por tanto, parte norte del Actur, y los barrios de Juslibol, Parque Goya y San Gregorio, por quedar fuera de este límite.

Para su análisis se usarán, además de las estaciones, el número de cargadores por estación para todos los cálculos realizados. Esto se debe a que nos permite una aproximación más realista por la diferente ponderación cuantitativa que poseen las estaciones, en la que en una misma ubicación puede ofrecer servicio simultáneo a más de un vehículo.

Comenzando con la densidad de población, el **mapa 8** sugiere que hay relación entre la distribución espacial de la población y la de las estaciones de carga. Por una parte el mayor número de estaciones parece concentrarse en las juntas más densamente pobladas, es decir, las municipales del interior de la ciudad, con valores superiores a los 2000 habitantes/ km², frente a los 400 o menos de las vecinales periféricas.



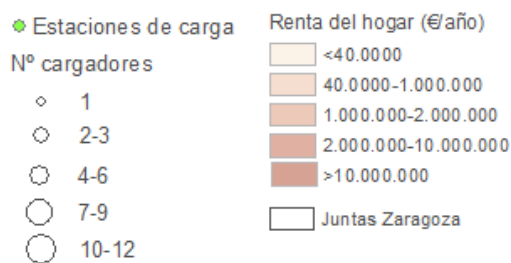
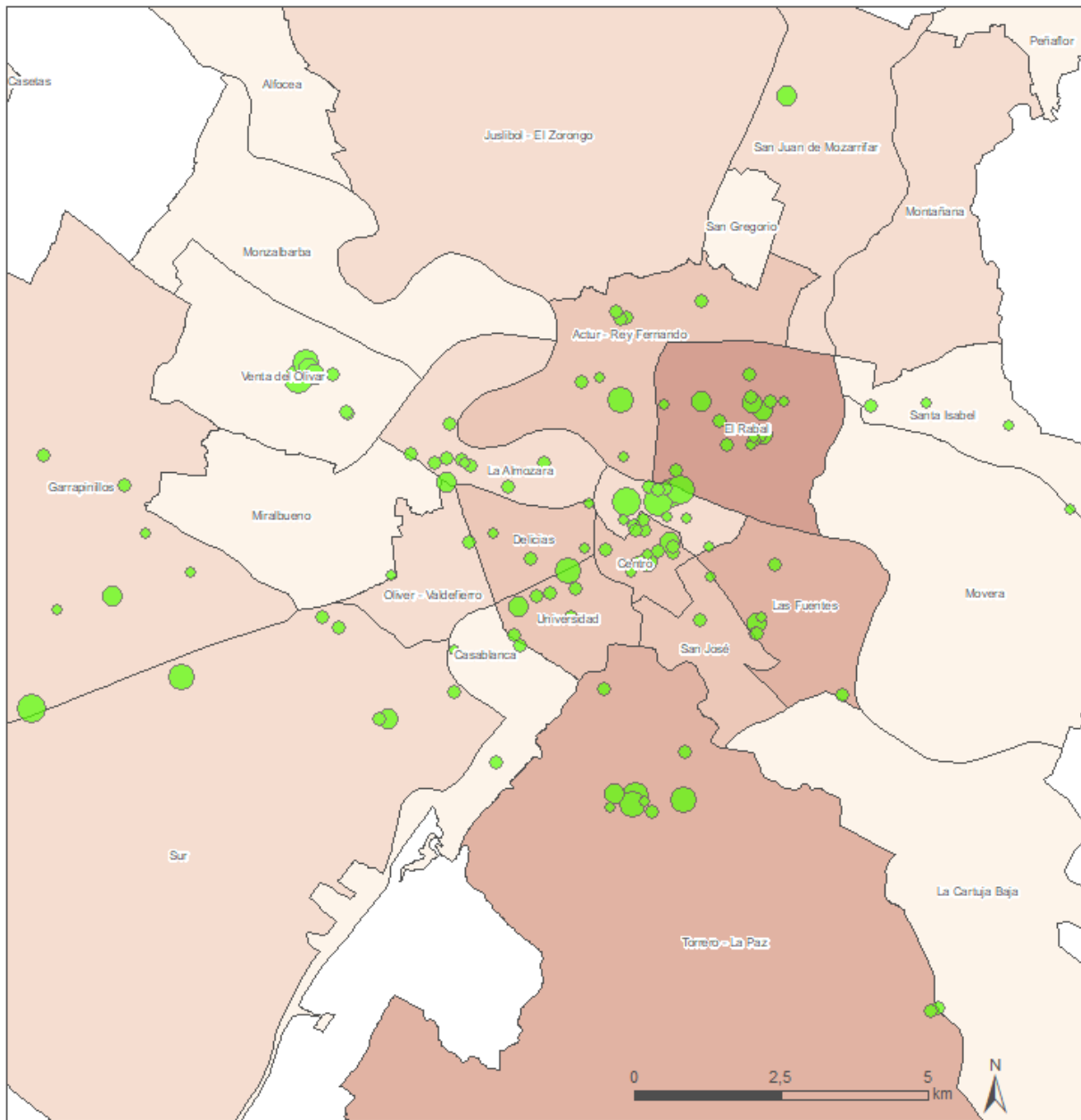
Mapa 8. Densidad de población.

En lo relativo a la variable renta media del hogar, sucede algo similar a la anterior. Parece existir cierta correspondencia entre las juntas con un mayor nivel de renta media por hogar y la mayor cantidad de estaciones, como queda reflejado en el **mapa 9**.

Este hecho se percibe fundamentalmente en el eje norte-sur que sigue tanto la renta como el eje de clústeres de cargadores, El Rabal (2), Casco histórico-Centro (1) y Universidad (3), tratado anteriormente (**apartado 5.4.1.**)

Destacan, no obstante, importantes disparidades intraurbanas que no se daban con la densidad de población. Por ejemplo, la junta del Casco histórico, con mayor centralidad y densidad de cargadores, superior a los 200 por km², es también una de las de renta más baja, en torno a los 40.000€/año.

Debido a las diferencias entre ambas variables demográficas en relación con la cantidad de estaciones y cargadores, se justifica el uso de ambas para el análisis del lugar de origen como causa de localización de la infraestructura.



Mapa 9. Renta del hogar.

La última de las variables explicativas de la localización de la infraestructura de carga eléctrica, el tráfico rodado es la que, como era de esperar, muestra unos resultados más concluyentes, como ya se adelantó en el **apartado 3.3** (Sims, 2020).

Las zonificaciones realizadas se llevaron a cabo mediante la interpolación (IDW de distancia inversa) de los valores de intensidad media diaria de las estaciones de aforo¹⁴ puntuales existentes en los principales cruces de la ciudad, dentro de los límites del cuarto cinturón y obviando los datos de aforo lineales de las avenidas (Ayuntamiento Zaragoza, 2022). Este análisis se realizó mediante la técnica de interpolación de distancia inversa IDW.

El **mapa 10** representa la existencia de 4 zonas concéntricas con una gran variabilidad y alternancia en los vehículos registrados, cuyos límites asemejaremos a las circunvalaciones de la ciudad para facilitar su interpretación.

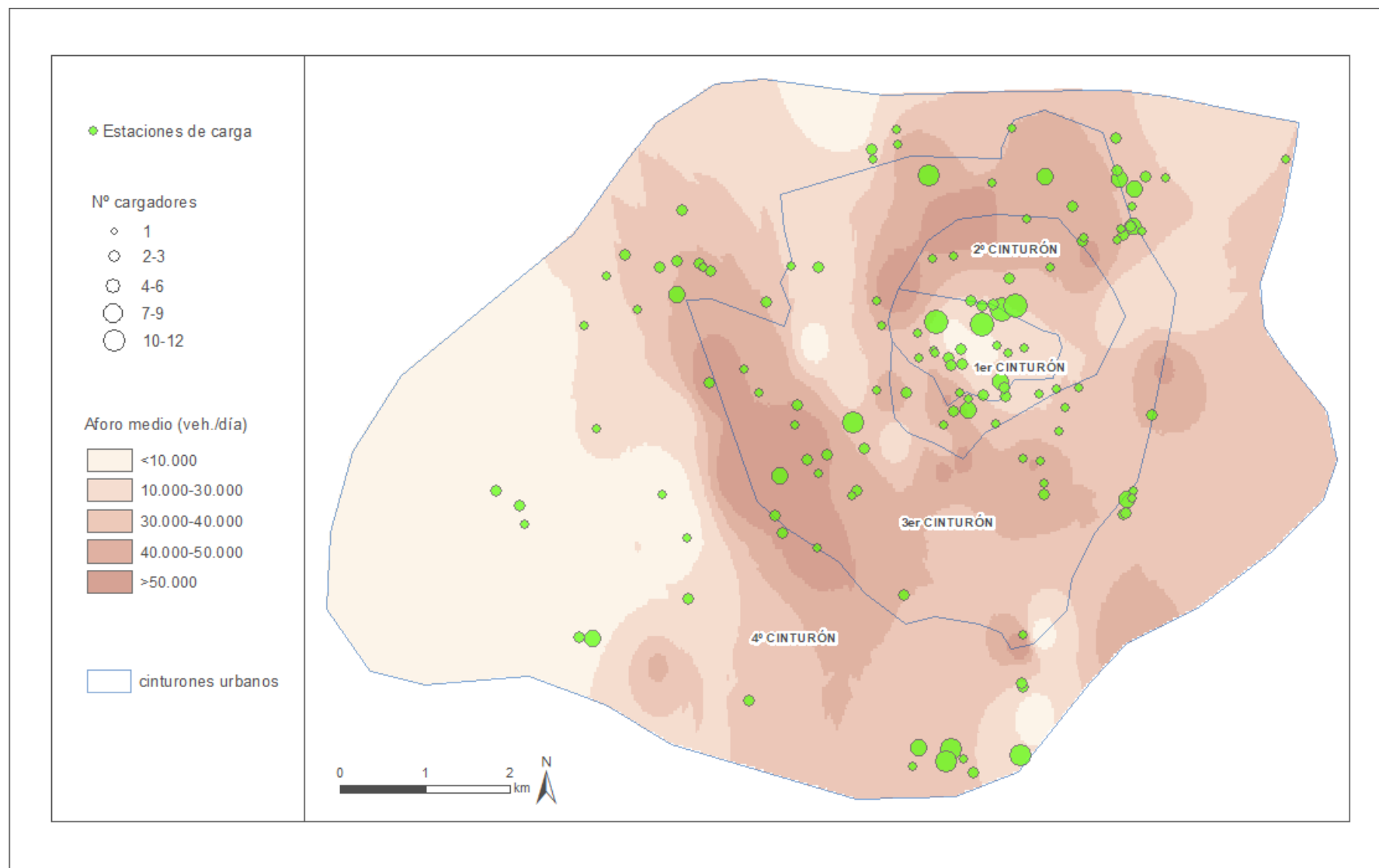
El centro de la ciudad correspondiente con el interior del primer y segundo cinturón, muestra los valores más bajos, <10.000 vehículos/día. También se encuentran en este rango algunas áreas de la periférica urbana, aunque con importantes contrastes dependiendo de los ejes de comunicación con el exterior, pudiendo llegar a superar los 40.000 algunas zonas. Por el contrario, las zonas con un mayor tráfico se encuentran en el anillo que comprende el interior del tercer cinturón, entre el segundo y el cuarto, con cifras que superan los 50.000.

El fenómeno registrado es habitual en las ciudades occidentales. Los distritos históricos se han quedado fuera de los flujos de movilidad más intensos, bien de forma espontánea o como efecto de la construcción de cinturones de circunvalación. Este vaciado del tráfico interior, unido al derivado de las restricciones ambientales futuras con la entrada en vigor de la Zona de Bajas Emisiones (**apartado 2.2**). es suplido por el aumento del tráfico en los anillos intermedios y exteriores de la ciudad.

Visualmente puede observarse la asociación espacial existente entre las estaciones y las áreas de mayor tráfico rodado, exceptuando la importante singularidad de espacios

¹⁴ Dispositivos electrónicos implementados en la propia vía que contabilizan el número de vehículos que transcurren por su ubicación.

centrales como las Juntas del Casco histórico y el Centro, donde hay concentraciones significativas de estaciones a pesar del menor tráfico registrado. Esto se debe a la gran accesibilidad que aporta la centralidad a estos espacios. Son destino de la mayor parte de los flujos de movilidad por la concentración de actividades terciarias como las compras especializadas, el ocio y turismo, y las labores administrativas y de oficina.



Mapa 10: Variaciones espaciales en la intensidad media diaria del tráfico

Con el objeto de establecer si existe una correlación estadística entre estas variables se ha calculado el Coeficiente de correlación de Pearson (r de Pearson).

Comenzando por el factor de densidad de población, obtenemos un resultado de r de 0,9985. Esto nos indica que la correlación es positiva y extremadamente alta por su proximidad a la unidad. De esta forma, a medida que aumenta la densidad de población de una junta lo hace de forma muy elevada el número de estaciones como muestra la línea de tendencia del **gráfico 7**.

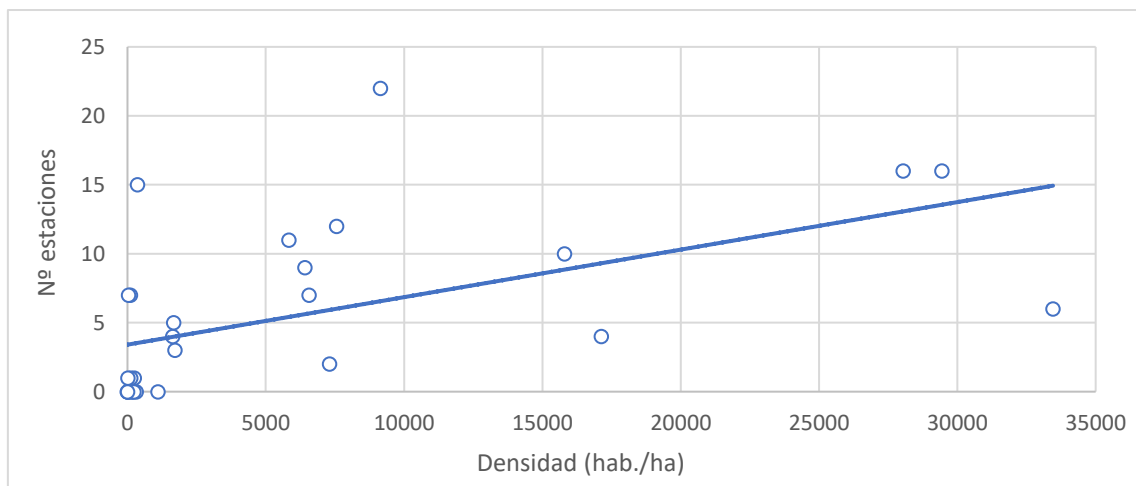


Gráfico 7: correlación de estaciones y densidad de habitantes (hab./ha).

En segundo lugar, se ha llevado a cabo el mismo proceso con los cargadores. En este caso el valor del coeficiente resulta más moderado, con un 0,0574. Esto indica una correlación igualmente positiva pero poco significativa por su proximidad a 0 (**gráfico 8**).

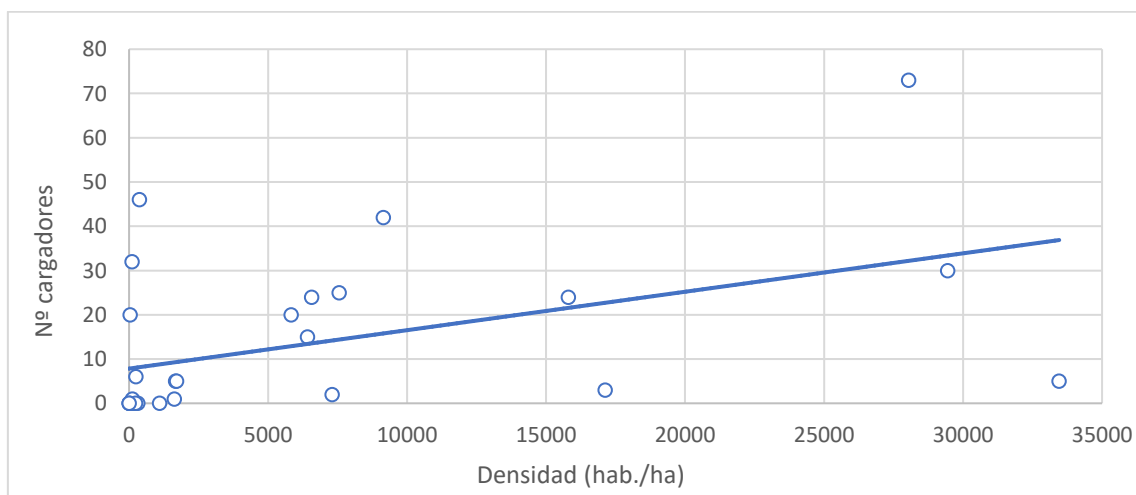


Gráfico 8: correlación de cargadores y densidad de habitantes (hab./ha).

Con respecto a la comprobación estadística de la correlación existente con la renta del hogar, sucede lo mismo que en el caso anterior. El coeficiente de Pearson nos da un resultado de 0,7053: correlación positiva alta. Como muestra la línea de tendencia del **gráfico 9**, a medida que aumenta la renta media del hogar de una junta lo hace de forma elevada el número de estaciones, aunque con una importante concentración de valores bajos de renta del hogar.

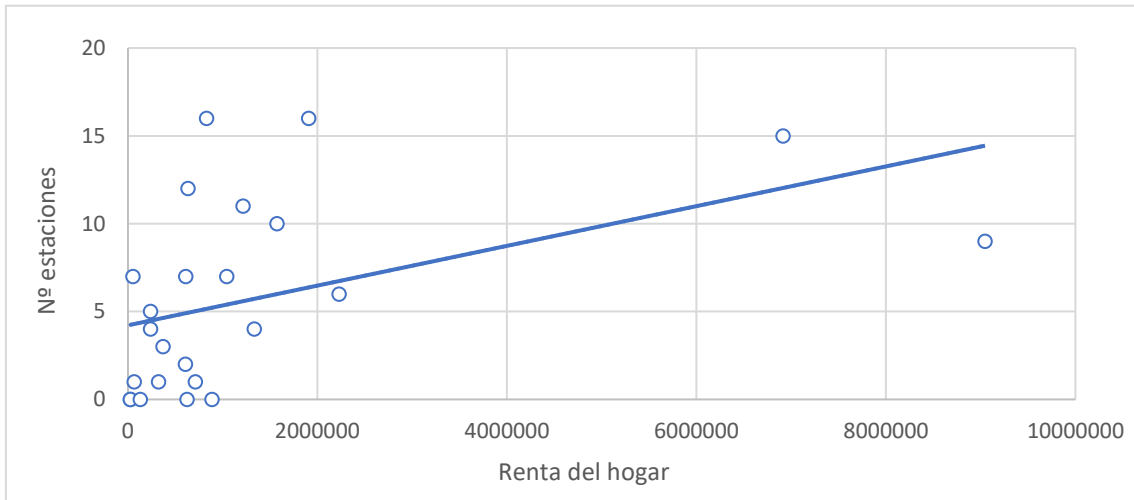


Gráfico 9: Correlación 3: estaciones renta del hogar (€/año).

Por otra parte, la correlación con respecto a los cargadores de las estaciones es igualmente positiva, pero como el caso de la densidad de población, muy baja. Valor de r de 0,0228 (**gráfico 10**).

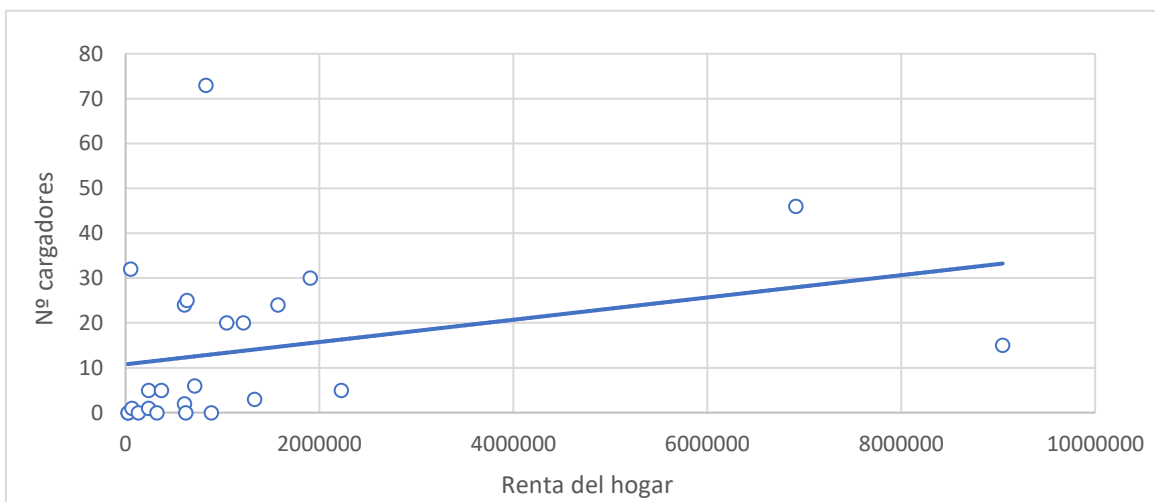


Gráfico 10: correlación de cargadores y renta del hogar (€/año).

Finalmente se comprobó la intensidad de tráfico rodado, obteniendo un resultado de 0,9550 con el número de estaciones. Esto nos indica que la correlación, además de ser positiva, es muy alta por su cercanía a la unidad: a medida que aumentan el tránsito en una zona también lo hace de forma correlacionada el número de estaciones, como puede verse en la línea de tendencia del **gráfico 11**.

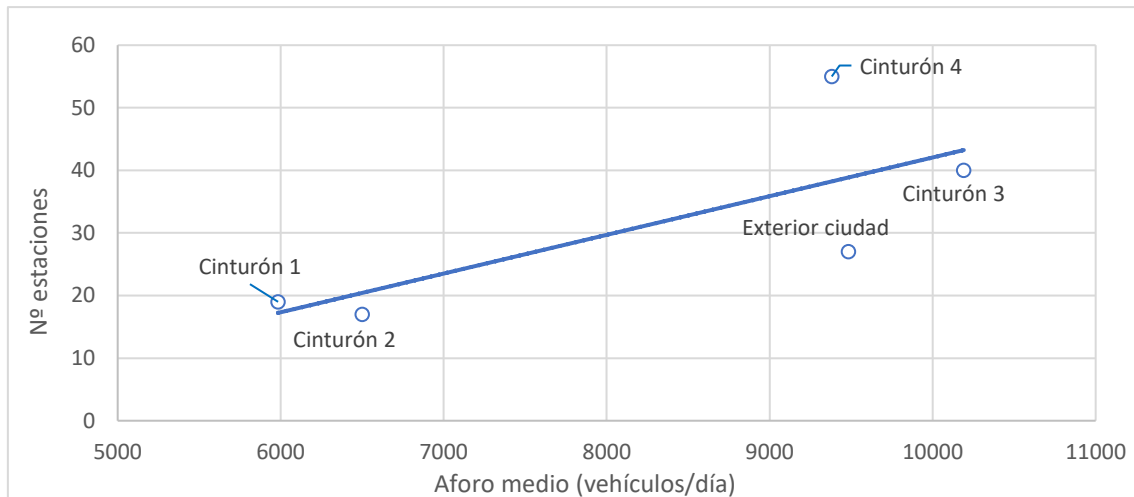


Gráfico 11: Correlación de estaciones e intensidad del tráfico (vehículos/día).

La correlación existente con el número de cargadores de las estaciones, el tráfico de vehículos es la única de las variables explicativas analizadas en las que la correlación coincida entre estaciones y cargadores. Valor de r de Pearson de 0,9559.

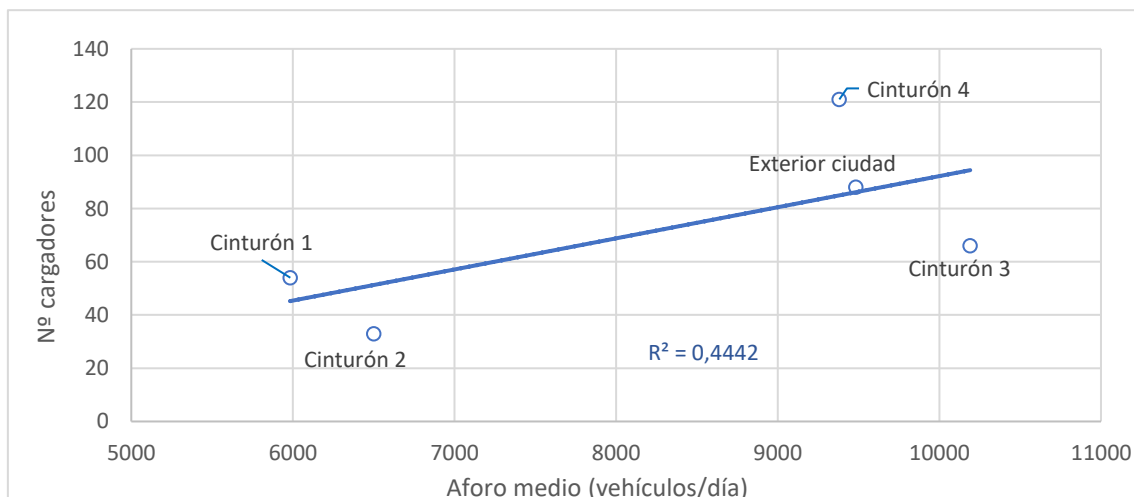


Gráfico 12: Correlación de cargadores-e intensidad del tráfico (vehículos/día).

Para concluir con los factores explicativos del presente análisis de localización, hay que destacar que todas las variables, densidad de población, renta del hogar e intensidad del tráfico de vehículos, presentan correlaciones positivas muy elevadas con las estaciones de carga. Sin embargo, la única que determina la mayor o menor oferta de cargadores por estación es el tráfico rodado, por su elevada correlación con los mismo. El resto de las variables presentan correlaciones con el número de cargadores que, aunque positivas, son insignificantes. Esta comparativa se sintetiza en la **tabla 1**:

INFRAESTRUCTURA	FACTOR EXPLICATIVO	R DE PEARSON	CORRELACIÓN
Estaciones de carga	Densidad de población	0,9986	Positiva muy alta
	Renta del hogar	0,7053	Positiva alta
	Intensidad del tráfico	0,9551	Positiva muy alta
Cargadores	Densidad de población	0,0574	Positiva muy baja
	Renta del hogar	0,0228	Positiva muy baja
	Intensidad del tráfico	0,9560	Positiva muy alta

Tabla 1. Resultado de las correlaciones.

Todos los valores utilizados para cálculo de las correlaciones pueden consultarse en el **Anexo**.

5.5. Evaluación. Áreas de influencia y optimización de la red.

Tras realizar la evolución espaciotemporal de las estaciones de carga para vehículo eléctrico, la caracterización de sus atributos actuales y la explicación de las variables geográficas que intervienen en su ubicación, finalizamos el estudio con la evaluación de los patrones espaciales encontrados y la realización de propuestas para su mejora.

Como vimos en el **apartado 5.2** se ha intensificado la instalación de estaciones de carga, con un incremento total del 56,25% en el periodo 2021-2023, pasando de 70 a 160 estaciones. Sin embargo, y a pesar de las 37 propuestas por el Ayuntamiento de Zaragoza para el año 2023, la red existente sigue sin ser suficiente¹⁵. La disponibilidad de una red óptima es determinante para la transición en la movilidad debido al “rango de ansiedad” que presentan los usuarios en cuanto a la autonomía de los vehículos eléctricos (Sims, O. 2022).

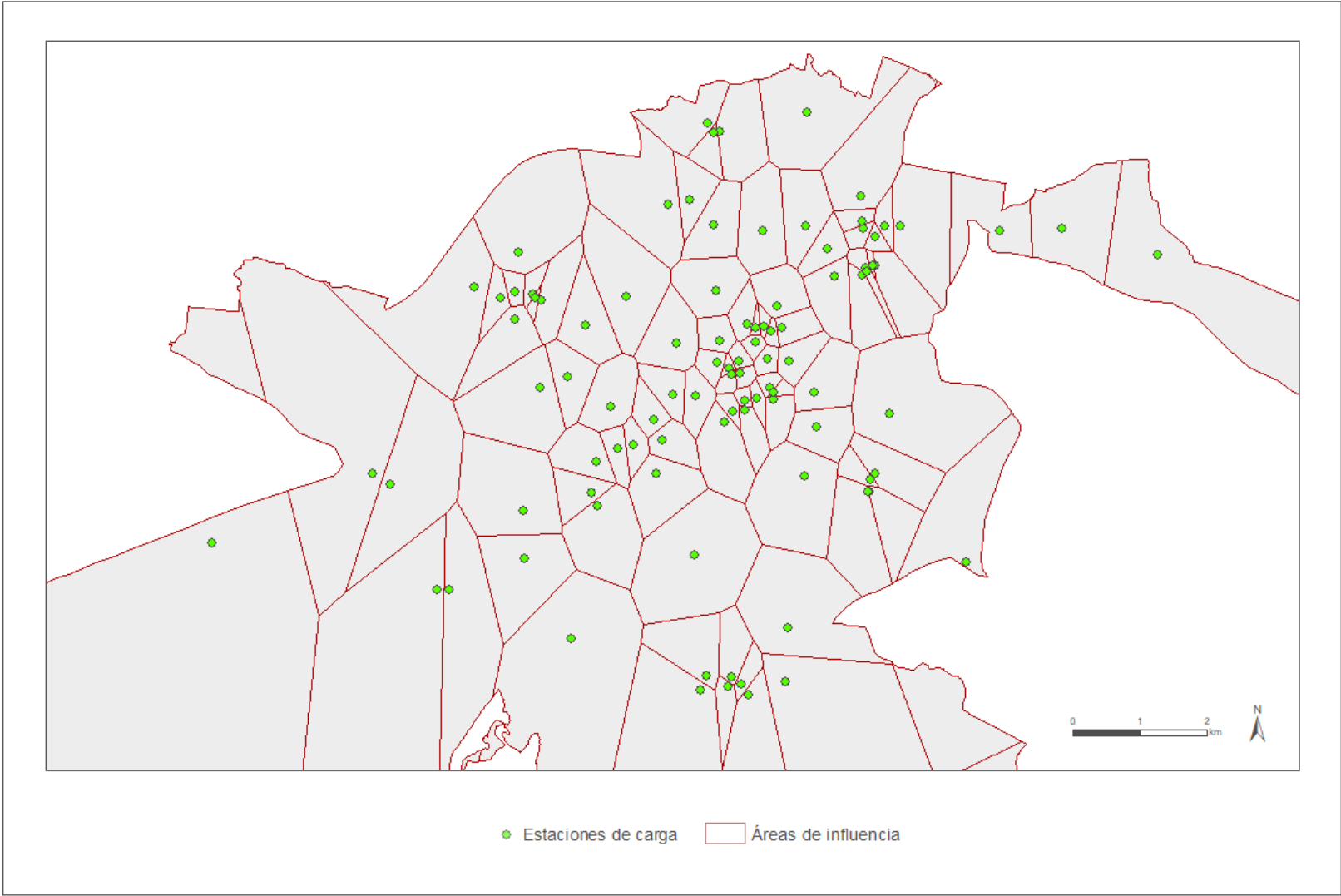
Para su evaluación se va a trazar la cobertura de las actuales estaciones mediante la aplicación del método del área próxima (Gosh y Maclafferty, 1988). Este método consiste en la creación de polígonos de Thiessen, delimitando las áreas más cercanas a cada estación que a cualquier otra. Procede, por tanto, en caso de infraestructuras como las estaciones de carga en cuya elección por parte de los usuarios de vehículo eléctrico tiene una mayor importancia la cercanía por encima de otras características temática como el número de cargadores con los que cuentan. El producto resulta muy expresivo ya que el déficit de estaciones se relaciona con el tamaño de las áreas de influencia: a mayor tamaño más necesidad y a la inversa.

La aplicación del método en relación con las estaciones de carga de Zaragoza da como resultado el **mapa 11**. Conviene advertir que como en las juntas vecinales de los barrios rurales el número de estaciones es reducido, se han eliminado de esta parte del análisis mediante una escala mayor que favorezca la lectura del mapa y, en concreto, la

¹⁵ La Comisión de la Unión Europea acordó normas (paquete de medidas “Objetivo 55”) para la reducción del 55% las emisiones de CO₂ de los automóviles para el año 2030, y del 100% para el 2050, por lo que se requiere aumentar sustancialmente la infraestructura de carga.

visualización de las áreas correspondientes a las estaciones de la ciudad compacta (juntas municipales).

En las ubicaciones centrales de la ciudad de Zaragoza las áreas de influencia de las estaciones son de reducida extensión por el mayor número de estaciones instaladas, principalmente en las Juntas del Casco histórico y del Centro. También ocurre en áreas con presencia de clústeres secundarios de la periferia (**apartado 5.4.1**). Por el contrario, a medida que nos distanciamos hacia la periferia de la ciudad compacta, como el número de estaciones es menor, los polígonos trazados aumentan en tamaño.



Mapa 11: Áreas de influencia.

Como el objetivo último del estudio es el de proponer el aumento de estaciones de carga en ubicaciones idóneas para alcanzar una mayor homogenización espacial de la red de carga, la zonificación realizada mediante los Polígonos Thiessen nos señala que el número de estaciones debe de aumentar en las juntas municipales más periféricas ya que, además, un reducido número de estas hace frente a grandes áreas de demanda. Con ello se conseguirían menores tiempos de desplazamiento haciendo el factor distancia menos sensible, para el usuario, tanto por tiempo como en coste.

Las mejoras de cobertura implícitas en la delimitación de las actuales áreas de influencia han de completarse con las conclusiones obtenidas en la fase de diagnóstico respecto a los demás factores de localización. En cuanto a los espacios periféricos, se deberá buscar la reducción del tamaño de las áreas de influencia con nuevas estaciones, situándolas prioritariamente en torno a las vías de transporte o en ejes secundarios del interior, siempre y cuando la infraestructura viaria lo permita. En concreto, las zonas con un mayor tránsito de vehículos, factor con alta incidencia en la localización, en especial las atravesadas por el tercer cinturón, deberán aumentar. Por el mismo motivo, aunque en menor medida, las juntas en las que confluyan altas densidades y elevadas rentas deberán seguir completando su red para atender la creciente demanda.

6. CONCLUSIONES

En la realización del trabajo se ha conseguido cumplir con todos los objetivos fijados: 1. Exposición de la evolución espaciotemporal de la infraestructura, 2. Caracterización espacial y temática de las estaciones de carga y 3. Análisis de los factores de localización y evaluación preliminar del grado de cobertura y del potencial de mejora de la implantación de la red.

La infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Zaragoza ha aumentado considerablemente en los últimos años, expandiéndose desde las ubicaciones originales del centro y los ejes principales hacia otros espacios de la ciudad.

Sin embargo, este crecimiento se ha efectuado de forma rápida y desordenada por la gran disparidad espacial resultante: importantes clústeres en espacios centrales y grandes vacíos en la periferia. Además, se ha dejado patente la gran diversidad de características técnicas de las estaciones, como en el número y potencia de sus cargadores, carentes de estandarización y con tiempos de recarga muy elevados.

Con respecto a los factores de localización se cumplen las 3 hipótesis planteadas. La densidad de población, la renta del hogar y la intensidad del tráfico de vehículos muestran una correlación positiva muy alta con el número de estaciones.

Por su parte, las áreas de influencia muestran gran disparidad en la ciudad, satisfaciendo espacios de demanda muy reducidos en el centro y excesivamente elevados conforme nos alejamos hacia la periferia, elevando la importancia del factor distancia.

En el futuro se deberá seguir homogeneizando la infraestructura de carga eléctrica de tal forma que conforme una red sin vacíos, en especial atendiendo a los lugares de mayor demanda, con objetivo de efectuar la transición hacia un modelo de movilidad más sostenible en el marco de la entrada en vigor de la Zona de bajas emisiones en la ciudad.

En cuanto a las dificultades encontradas en la realización del estudio están la gran diversidad de fuentes de datos no homogeneizados, la desactualización de la

información pública ofrecida por el Ayuntamiento de Zaragoza y la relativa escasez de estudios de espacios de trabajo similares.

Para futuros análisis sería importante tener en cuenta la localización de los servicios de alquiler de vehículos eléctricos para comprobar si la red existente los provee de forma adecuada. La intermodalidad con otros medios de transporte no se ha tenido en cuenta por considerarse inexistente si los vehículos son de propiedad. Tampoco la infraestructura relativa a los servicios de transporte público, como el autobús, por encontrarse agrupada en una única localización.

Se considera necesario, aunque poco viable, la creación de una base de datos que cuente con las estaciones de carga particulares, con el fin de ofrecer un análisis completo de la infraestructura de movilidad eléctrica. En todo caso esperamos haber hecho con este TFG una primera aportación al análisis espacial de la infraestructura de movilidad eléctrica para ciudades compactas de tamaño intermedio como Zaragoza.

BIBLIOGRAFÍA

ACEA (2023). Interactive map: Correlation between electric car sales and charging point availability. *ACEA Driving mobility for future*. Extraído de <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-correlation-between-electric-car-sales-and-charging-point-availability-2022-data/>

Anderson, E. et al (2017) *What electric vehicle users want: Real-world preferences for public charging infrastructure*. International Journal of Sustainable Transportation.

Cámara de Comercio, Industria y Servicios de Zaragoza (2023). *Oficina por la Promoción de la Movilidad Eléctrica y conectada*. Recuperado de <https://movilidadelectricazaragoza.es/>

Carwow [carwow.es] (2023). [Archivos de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/@carwowesp>

ChargingBox (2023). *ChargingBox: Mapa de puntos de carga para coche eléctrico*. Extraído de <https://www.charging-box.com/punto-de-carga-coche-electrico/>

Consejo de la Unión Europea (2022). Descarbonización del sector del transporte. *Movilidad limpia y sostenible*. Recuperado de <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/clean-and-sustainable-mobility/>

Csiszár, C. Csonka, B. Földes, D. Wirth, E. Lovas, T. (2020). Location optimisation method for fast-charging stations along national roads. *Journal of Transport Geography*, volumen 88. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692319303801>

Electromaps (2022). *Electromaps: Mapa*. Recuperado de <https://www.electromaps.com/es>

Endesa (2023). Endesa X Way (4.3.35) [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://endesaxway.com/es>

Ghosh, A, Mclafferty, S. (1987), *Location Strategies for Retail and Service Firms*. Lexington Books.

Gregory J., Sultana, S. (2022). Electric vehicle charging station accessibility and land use clustering: A case study of the Chicago región. *Journal of Urban Mobility*, volumen 2. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667091722000073>

Guerrero, G. (2023, 8 de enero). Propuestas de hoy para la movilidad sostenible del mañana. *La Vanguardia*, Foros: transición energética.

Heraldo de Aragón (2023, 10 de febrero). La densidad del tráfico se aligera en el centro de Zaragoza y se desplaza hacia el Tercer Cinturón, *Heraldo de Aragón*. Zaragoza, pág. 18.

Larrodé, E. (2023, 21 de mayo). Un futuro eléctrico y sin emisiones pendiente de definir, *Heraldo de Aragón*. Zaragoza, pág. 8.

Iberdrola (2023). Recarga pública Iberdrola (4.14.5) [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://www.iberdrola.es/smart-mobility/puntos-de-recarga>

Ibor-Mayor, L. (2023). Apartado 3.6. Movilidad sostenible, circularidad y transición energética. En *Anuario 2022-2023 de la movilidad eléctrica: la voz de la cadena de valor*. AEDIVE. Recuperado de <https://aedive.es/wp-content/uploads/2023/05/Anuario-AEDIVE.pdf>

Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. Boletín Oficial del Estado, 21 de mayo de 2021, núm. 211

Ministerio de transportes, movilidad y Agenda urbana, Gobierno de España (2020). Informe 2022. *Observatorio del transporte y la logística en España*. Recuperado de <https://observatoriortransporte.mitma.es/inform/es/2022/5-sostenibilidadambiental/52-emisiones-y-eficienciaambiental/521emisiones-contaminantes-del-transporte>

Mobility city (2023). *IV Observatorio de la Movilidad Sostenible: Mano a mano en la movilidad del futuro*. Zaragoza: Fundación Ibercaja. Recuperado de <https://www.grantthornton.es/contentassets/4e1b0a3dbf1943fab0837dd22133aead/iv-observatorio-de-la-movilidad-sostenible-2023.pdf>

Noya, C. (2022). ¿Cuánto cuesta cargar un coche eléctrico? Comparativa frente a un modelo gasolina. Foro coches eléctricos. Recuperado de <https://forococheselectricos.com/2022/07/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico-comparativa-modelo-gasolina.html>

Oficina de Organización y Servicios Generales Observatorio Municipal de Estadística, Ayuntamiento Zaragoza (2022). Datos demográficos del padrón municipal de habitantes. *Cifras de Zaragoza, 2022*, 13-75.

Oficina de Participación, Transparencia y Gobierno Abierto, Ayuntamiento Zaragoza (2022). *Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Zaragoza*. Recuperado de <https://www.zaragoza.es/sede/portal/datos-abiertos/servicio/catalogo/>

Orden de 11 de enero de 2013, del Consejero de Industria e Innovación, por la que se declara zona de gran afluencia turística el área denominada "Casco Histórico" del municipio de Zaragoza. Boletín Oficial de Aragón, 14 de enero de 2013, núm. 9.

Pliego de 22 de abril de 2022, del Ayuntamiento de Zaragoza, por el que se establecen las prescripciones técnicas para la instalación, mantenimiento y explotación de una infraestructura de estaciones de recarga pública para vehículos eléctricos puros en espacios de dominio público del término municipal de Zaragoza.

Royo Vicente, J (2023). *Memoria de prácticas*. Cámara de Comercio, Industria y Servicio de Zaragoza: Oficina para la promoción de la movilidad eléctrica y conectada.

Sims, O. (2022). *Where Should We Be Placing EV Charging Stations? (Using QGIS and PuLP) Towards Data Science*. Recuperado de <https://towardsdatascience.com/where-should-we-be-placing-ev-charging-stations-using-qgis-and-pulp-d2bb7b664a55>

ANEXO

Test Shapiro-Wilk	0,0007006	<0,05 Dist. No normal
Normalizable, log	0,08785	>0,05 Distribución normal
a	-0,027207221	
b	0,000129004	
r (Pearson)	0,998553989	(-1 y 1) Correlación
Durbin Watson	2,226433235	(1 y 3) Aproximación adecuada

Tabla 1. Cálculo de correlación: número de estaciones y densidad de población (hab./ha).

Test Shapiro-Wilk	1,60E-05	<0,05 Dist. No normal
Normalizable, log	0,1384	>0,05 Distribución normal
a	0,954678977	
b	-0,092968003	
r (Pearson)	0,057421035	(-1 y 1) Correlación
Durbin Watson	2,500452302	(1 y 3) Aproximación adecuada

Tabla 2. Cálculo de correlación: número de cargadores y densidad de población (hab./ha).

Test Shapiro-Wilk	0,0007006	<0,05 Dist. No normal
Normalizable, log	0,08785	>0,05 Distribución normal
a	0,954242509	
b	0,142708901	
r (Pearson)	0,70533223	(-1 y 1) Correlación
Durbin Watson	0,14852069	(1 y 3) Aproximación adecuada

Tabla 3. Cálculo de correlación: número de estaciones y renta media del hogar (€/año).

Test Shapiro-Wilk	1,60E-05	<0,05 Dist. No normal
Normalizable, log	0,1384	>0,05 Distribución normal
a	1,003365559	
b	0,004205168	
r (Pearson)	0,022846278	(-1 y 1) Correlación
Durbin Watson	1,936371206	(1 y 3) Aproximación adecuada

Tabla 4. Cálculo de correlación: número de cargadores y renta media del hogar (€/año).

Test Shapiro-Wilk	0,4641	>0,05 Distribución normal
a	-0,81017781	
b	0,003900987	
r (Pearson)	0,955061347	(-1 y 1) Correlación
Durbin Watson	1,557372547	(1 y 3) Aproximación adecuada

Tabla 5. Cálculo de correlación: número de estaciones y aforo de vehículos (vehículos/día).

Test Shapiro-Wilk	0,9366	>0,05 Distribución normal
a	-1,013412801	
b	0,00883626	
r (Pearson)	0,955985487	(-1 y 1) Correlación
Durbin Watson	1,447997588	(1 y 3) Aproximación adecuada

Tabla 6. Cálculo de correlación: número de cargadores y aforo de vehículos (vehículos/día).