

# **Propuesta de nuevos puntos de recarga de vehículos eléctricos en Valencia**

**Pablo Pons Del Río,  
Samatha Morata Sánchez,  
Irene Gómez Mas,  
Sergio Mut Morell y  
Mateo Méndez Colino.**

1.	Introducción.....	3
2.	Metodología.....	3
2.1.	Análisis exploratorio de los datos.....	3
2.2.	Preprocesado de Datos.....	4
2.3.	Preprocesado de la información geográfica.....	6
2.4.	Elección de gráficas para los distintos tipos de datos.....	7
2.5.	Diseño del mapa e interactividad.....	8
2.6.	Diseño del cuadro de mandos.....	9
2.7.	Implementación.....	10
3.	Resultados.....	11
4.	Discusión.....	16
5.	Conclusiones.....	18
6.	Referencias.....	20

# 1. Introducción

La transición hacia una movilidad más sostenible es una prioridad en muchas ciudades, entre ellas Valencia. En este contexto, el vehículo eléctrico se presenta como una alternativa clave para reducir emisiones contaminantes. Sin embargo, su adopción depende en gran medida de la disponibilidad de infraestructuras de recarga accesibles y bien distribuidas.

El Ayuntamiento de Valencia ha impulsado la instalación de puntos de recarga en la ciudad, pero resulta necesario analizar si su distribución es equitativa y garantiza el acceso a toda la población.

El análisis de accesibilidad a servicios urbanos es un tema habitual en la Geografía Urbana y en los Sistemas de Información Geográfica. Técnicas como los buffers permiten evaluar la cobertura de infraestructuras en el territorio.

En el ámbito de la movilidad eléctrica, diversos estudios destacan que la disponibilidad y proximidad de puntos de recarga influyen directamente en su uso, pudiendo existir desigualdades espaciales entre distintas zonas urbanas.

El objetivo principal es analizar la accesibilidad a los puntos de recarga de vehículos eléctricos en Valencia.

De forma específica, se pretende:

- Analizar la distribución espacial de los cargadores existentes.
- Evaluar la cobertura territorial mediante buffers de distancia.
- Identificar desigualdades territoriales entre distritos.
- Incorporar variables demográficas y socioeconómicas, como población y renta, para establecer prioridades de intervención.
- Detectar zonas con baja accesibilidad a la infraestructura de recarga.
- Proponer ubicaciones para nuevos puntos de recarga.

## 2. Metodología

### 2.1. Análisis exploratorio de los datos

Para el desarrollo del proyecto se realizó un análisis exploratorio inicial con el objetivo de conocer la estructura, el contenido y la calidad de los datos disponibles antes de comenzar con el análisis espacial y la visualización interactiva. Esta fase permitió identificar las variables más relevantes, detectar posibles problemas de formato y comprobar qué conjuntos de datos podían integrarse entre sí mediante campos comunes como el distrito o mediante relaciones espaciales.

El primer conjunto de datos utilizado fue el de puntos de recarga de vehículos eléctricos existentes en Valencia. Este archivo se encontraba en formato JSON y contenía una estructura propia de datos geográficos, con una parte de atributos y otra de geometría. Cada registro representaba una toma de recarga e incluía información como el identificador del punto, el distrito, la dirección o emplazamiento, el número de toma, el precio, la potencia, el

tipo de conector, el modo de carga y observaciones sobre su funcionamiento. Además, el archivo incluía coordenadas x e y, lo que permitió convertirlo posteriormente en una capa espacial de puntos. Durante la exploración se observó que algunas variables, como el precio y la potencia, estaban almacenadas como texto y contenían unidades o caracteres especiales, por lo que necesitaban un tratamiento previo antes de poder utilizarse en gráficos o cálculos.

También se utilizaron capas espaciales correspondientes a los límites administrativos de Valencia, concretamente los distritos y los barrios. Estas capas permitieron representar el territorio de análisis y realizar operaciones espaciales dentro de QGIS y Shiny. La capa de barrios contenía polígonos con el nombre del barrio, el código de barrio, el código distrito-barrio, el código de distrito y el área. La capa de distritos se utilizó como unidad principal de análisis para los mapas temáticos, ya que la mayor parte de los indicadores finales se calcularon a escala de distrito.

Otro conjunto de datos incorporado fue el de renta por distrito. Esta información permitió añadir una dimensión socioeconómica al proyecto, ya que el objetivo no era únicamente estudiar la ubicación de los cargadores, sino también evaluar si la distribución de la infraestructura podía relacionarse con el nivel económico de cada zona. En fases posteriores, esta variable se utilizó para generar un mapa específico de renta y para ajustar la prioridad final de instalación de nuevos cargadores.

Además, se empleó un archivo Excel del padrón municipal. Este archivo contenía información de población organizada por distritos y barrios, así como por grupos de edad. Durante la exploración se observó que la hoja tenía una estructura jerárquica: primero aparecía un distrito y debajo todos los barrios que pertenecían a ese distrito, repitiéndose esta estructura para los 19 distritos de Valencia. A partir de este archivo se obtuvo una variable de población útil para el análisis, sumando los grupos de población mayor de 16 años y mayor de 65 años, y eliminando la población menor de 16 años, al no considerarse población potencialmente usuaria de vehículos eléctricos.

A partir de los datos originales se generaron también varias capas derivadas mediante procesos de análisis espacial. Una de ellas fue la capa de buffers de 500 metros alrededor de los cargadores existentes, utilizada para representar las zonas cubiertas por la infraestructura actual. También se generó una capa de distritos con indicadores de cobertura y población, que incluía variables como el porcentaje de población sin cobertura a 500 metros, la población total, el índice de prioridad y la prioridad final. Finalmente, se creó una capa de cargadores propuestos, que representa la propuesta final de nuevas ubicaciones de recarga teniendo en cuenta tanto la falta de cobertura como la población afectada y la componente socioeconómica.

En conjunto, los datos utilizados combinan información espacial, demográfica, socioeconómica y técnica. Los formatos de trabajo fueron variados, incluyendo JSON, GeoJSON, Excel y GPKG. Esta diversidad hizo necesario realizar una fase de limpieza y homogeneización, ya que los datos presentaban diferencias en los sistemas de referencia espacial, nombres de columnas poco claros, valores numéricos almacenados como texto, valores ausentes y distintas escalas territoriales de análisis.

## 2.2. Preprocesado de Datos

El preprocesado de los datos se realizó principalmente en R, utilizando librerías como jsonlite, dplyr, tidyr, sf, readxl, stringr y writexl. El objetivo de esta fase fue transformar los

datos originales en conjuntos limpios, coherentes y compatibles con las etapas posteriores del proyecto, especialmente el análisis en QGIS y la visualización interactiva en Shiny.

En primer lugar, se procesó el archivo JSON de cargadores eléctricos. Dado que el archivo no era un GeoJSON estándar, se cargó con `jsonlite::fromJSON()` y se separaron manualmente los atributos y la geometría. Los atributos contenían la información descriptiva de cada cargador, mientras que la geometría contenía las coordenadas  $x$  e  $y$ . Posteriormente, ambas partes se unieron en una única tabla y se convirtieron en un objeto espacial mediante la librería `sf`, utilizando el sistema de referencia original EPSG:25830. Después, la capa se reproyectó a EPSG:4326 para poder utilizarla correctamente en Leaflet dentro de Shiny.

Durante la limpieza del conjunto de cargadores se renombraron varias columnas para facilitar su interpretación y evitar problemas posteriores en el código. Por ejemplo, la columna `emplazamie` se renombró como `direccion`, `precio__iv` como `precio`, `potenc_ia` como `potencia` y `observacio` como `observaciones`. También se normalizaron algunos textos, especialmente las direcciones, eliminando saltos de línea, barras invertidas y diferencias de mayúsculas y minúsculas.

Uno de los pasos más importantes fue la conversión de las variables de precio y potencia. En el archivo original, el precio aparecía con formato textual, por ejemplo `0,19 €/kWp`, y la potencia aparecía como `7,5 kW dia` o como textos del tipo `Según producción FV`. Para poder utilizar estas variables en análisis numéricos y gráficos, se eliminaron los caracteres no numéricos, se sustituyó la coma decimal por punto y se convirtieron los valores a formato numérico. En el caso de la potencia, los registros asociados a producción fotovoltaica no tenían un valor numérico concreto, por lo que quedaron como valores ausentes.

Para evitar que los valores ausentes de potencia generaran problemas de interpretación, se creó una variable categórica llamada `tipo_poten`. Esta variable clasifica los cargadores en dos grupos: `fija`, cuando existe un valor numérico de potencia, y `solar`, cuando la potencia depende de la producción fotovoltaica y aparece como valor ausente. Esta decisión permitió conservar todos los registros originales y, al mismo tiempo, utilizar la información en gráficos y mapas diferenciando entre cargadores fijos y solares.

En cuanto al archivo de barrios, este también se encontraba en formato JSON con geometrías poligonales. La geometría estaba almacenada en forma de anillos, por lo que fue necesario reconstruir los polígonos manualmente mediante `st_polygon()` y `st_sfc()`. Una vez creada la capa espacial, se renombraron los campos principales, como el identificador del barrio, el código de barrio, el nombre del barrio, el código distrito-barrio, el código de distrito y el área. También se transformaron los nombres de los barrios a mayúsculas y se convirtieron los códigos a formato numérico cuando era necesario. En los casos en que el área venía vacía, se calculó a partir de la geometría utilizando `st_area()`.

El archivo del padrón municipal se procesó desde Excel utilizando `readxl`. La estructura del archivo requería un tratamiento específico, ya que los distritos aparecían como filas principales y los barrios correspondientes aparecían justo debajo. Para obtener la población por distrito, se identificó a qué distrito pertenecía cada barrio, se seleccionaron las columnas correspondientes a mayores de 16 años y mayores de 65 años, y se sumaron ambas para obtener la población considerada en el análisis. Posteriormente, se eliminaron las filas de totales y la información de menores de 16 años, y se agregaron los valores por distrito para obtener una tabla final con distrito y población.

La información de renta por distrito también fue limpiada y preparada para integrarse con el resto de datos. Se homogeneizó el campo de distrito para que tuviera el mismo formato que en las demás capas, y se utilizó como clave de unión para añadir la renta a los datos de cargadores y a las capas de análisis territorial. Además, se creó una capa específica de

renta por distrito, utilizada posteriormente en Shiny para representar la renta media por hogar mediante un mapa coroplético.

Una vez limpios los datos principales, se generaron indicadores derivados. A partir de los cargadores y la población se calculó el número de cargadores por cada 10.000 habitantes, lo que permitió comparar la dotación de infraestructura entre distritos independientemente de su tamaño poblacional. También se utilizaron los buffers de 500 metros para identificar qué zonas estaban cubiertas por la red actual de cargadores y qué proporción de población quedaba fuera de esa cobertura. Estos cálculos dieron lugar a variables como `pct_sin_500`, `poblacion`, `indice_prio` y `prioridad_final`.

Finalmente, se incorporó la componente socioeconómica al análisis de prioridad. Para ello se utilizaron variables como `renta_hogar`, `prior_renta`, `indice_renta`, `cambio_renta` y `prioridad_renta`. Estas variables permitieron ajustar la prioridad territorial inicial considerando también la renta del distrito. El resultado fue una capa final que representa la propuesta de nuevos cargadores, diferenciando los cargadores existentes de los cargadores propuestos y mostrando si la prioridad de un distrito cambió tras incorporar el criterio de renta.

Todo el preprocesado tuvo como finalidad obtener datos consistentes, comparables y listos para visualización. Las capas finales se exportaron en formatos compatibles con QGIS y Shiny, principalmente GeoJSON y GPKG. Gracias a este proceso, fue posible construir una aplicación interactiva con mapas de cargadores actuales, cobertura de 500 metros, prioridad por cobertura y población, renta por distrito y propuesta final de nuevos puntos de recarga.

### 2.3. Preprocesado de la información geográfica

Para poder realizar el análisis espacial de la distribución de los cargadores eléctricos en Valencia, fue necesario preparar previamente las capas geográficas utilizadas en QGIS. Este preprocesado permitió trabajar con una base territorial homogénea, calcular correctamente distancias y superficies, y generar nuevas capas derivadas que posteriormente se integrarían en el mapa final.

En primer lugar, se creó una capa de distritos a partir de la capa `barrios_limpios`. Para ello se utilizó la herramienta `Disolver`, agrupando los barrios según el campo correspondiente al distrito. Esta operación permitió pasar de una escala de análisis basada en barrios a una escala basada en distritos, ya que el análisis final se planteó a nivel distrital. Posteriormente, esta capa fue reproyectada al sistema de coordenadas EPSG:25830, generando la capa `distritos_reproyectado`. Esta reproyección fue necesaria porque los cálculos de distancia y superficie debían realizarse en metros, especialmente para el cálculo de áreas y porcentajes de cobertura.

También se preparó la capa de puntos de recarga existentes. A partir de la capa original se generó la capa `cargadores_limpios`, que contenía únicamente los registros válidos para el análisis. Según el proceso realizado, se eliminaron datos que no servían, se corrigieron campos y se quitaron duplicados o registros problemáticos. Después, esta capa fue reproyectada también a EPSG:25830, obteniendo `cargadores_limpios_reproyectado`, con el objetivo de poder calcular correctamente distancias y áreas de influencia alrededor de los cargadores.

Una vez preparadas las capas base, se generaron áreas de influencia alrededor de los cargadores eléctricos. La capa principal fue `buffer_500m`, creada a partir de `cargadores_limpios_reproyectado`. Esta capa representa las zonas situadas a una distancia máxima de 500 metros de cada punto de recarga, y se utilizó para definir qué partes de la ciudad podían considerarse cubiertas por la infraestructura existente. Además, se creó una

segunda capa, `buffer_300m`, que representa un escenario de cobertura más restrictivo, con una distancia de 300 metros, permitiendo comparar la cobertura principal con una alternativa de mayor proximidad.

A continuación, se cruzó la capa de distritos con el área de cobertura de 500 metros. Para ello se creó la capa `distritos_cubiertos_500m` mediante una intersección entre `distritos_reproyectado` y `buffer_500m`. Esta capa contiene únicamente las partes de cada distrito que quedan dentro del área de influencia de los cargadores. A partir de esta información se generó la tabla `tabla_area_cubierta_500`, que resume la superficie cubierta por cargadores en cada distrito. Como algunos distritos quedaban divididos en varios fragmentos tras la intersección, fue necesario agrupar dichos fragmentos por distrito y sumar la superficie cubierta total.

Posteriormente, la tabla de superficies cubiertas se unió de nuevo con la capa `distritos_reproyectado`, dando lugar a la capa `distritos_cobertura_500`. En esta capa se incorporaron campos de análisis como `area_total`, `pct_cob_500`, `pct_sin_500` y `prioridad_cob`. Estos campos permiten conocer qué porcentaje de cada distrito está cubierto por cargadores eléctricos y qué porcentaje queda fuera del área de cobertura de 500 metros.

Después se incorporó la información de población mediante la unión de la tabla `padron_distritos_limpio` con la capa `distritos_cobertura_500`, creando la capa `distritos_cobertura_poblacion`. Esta capa se utilizó como una de las capas principales del análisis, ya que combina información sobre cobertura, población, población sin cobertura, índice de prioridad y prioridad final. A partir de ella se seleccionaron los distritos con mayor prioridad, generando la capa `distritos_prioritarios`.

Para localizar zonas concretas donde sería conveniente proponer nuevos cargadores, se creó la capa `zonas_sin_cobertura_prioritarias` mediante la herramienta `Diferencia`. La operación consistió en restar el área cubierta por el `buffer` de 500 metros a los distritos `prioritarios`, es decir: `distritos_prioritarios - buffer_500m`. Como resultado, se obtuvo una capa con las partes de los distritos `prioritarios` que todavía quedaban fuera de la cobertura de los cargadores existentes.

Finalmente, se generó la capa `puntos_candidatos_cargadores` utilizando la herramienta `Centroides` sobre la capa `zonas_sin_cobertura_prioritarias`. Esta capa contiene puntos aproximados situados en el centro de las zonas `prioritarias` sin cobertura, y sirve como propuesta inicial de posibles ubicaciones para nuevos cargadores eléctricos. No obstante, estos puntos no deben interpretarse como ubicaciones definitivas, sino como una aproximación espacial que debería revisarse posteriormente teniendo en cuenta criterios urbanos como la disponibilidad de calles, aparcamiento, accesibilidad y viabilidad técnica.

En conjunto, este preprocesado geográfico permitió obtener las principales capas necesarias para el mapa final: la capa de distritos, los cargadores existentes, las áreas de cobertura de 500 y 300 metros, la cobertura por distrito, las zonas `prioritarias` sin cobertura y los puntos candidatos para la instalación de nuevos cargadores.

## 2.4. Elección de gráficas para los distintos tipos de datos

Las visualizaciones del cuadro de mandos se han desarrollado en R, utilizando principalmente las librerías `ggplot2` y `plotly`. La elección de cada tipo de gráfica se ha realizado en función de la naturaleza de los datos representados y siguiendo principios básicos de visualización, con el objetivo de facilitar la comparación, la interpretación y la detección de patrones.

En primer lugar, para el análisis de equidad territorial se han utilizado barras horizontales ordenadas. Este tipo de gráfico permite comparar una variable categórica, como el distrito, con una variable continua, como el ratio de cargadores. La longitud de las barras facilita la comparación entre magnitudes, mientras que la ordenación permite identificar rápidamente los distritos con valores más altos y más bajos.

Para el análisis socioeconómico se ha empleado un gráfico de dispersión interactivo, adecuado para representar la relación entre variables continuas, como la renta y la dotación de cargadores. Este tipo de visualización permite observar posibles relaciones o patrones entre ambas variables. Además, la interactividad mediante *tooltips* facilita la consulta de valores concretos y ayuda a evitar problemas de lectura cuando varios puntos se encuentran próximos entre sí.

En el caso del estado de la red, se ha utilizado una barra apilada al 100 %, ya que permite representar la relación entre las partes y el total mediante porcentajes de operatividad. Esta opción se ha considerado más adecuada que un gráfico circular, puesto que la comparación de longitudes lineales resulta más precisa que la comparación de áreas o ángulos.

Por último, para analizar la tecnología por distrito se ha empleado un mapa de calor. Esta visualización permite relacionar dos variables categóricas, como el distrito y el tipo de potencia, codificando el recuento mediante la intensidad del color. De este modo, se evita la saturación visual que podría producirse con un número elevado de barras agrupadas y se facilita la identificación de concentraciones o diferencias entre distritos.

En conjunto, la selección de gráficas busca adaptar cada visualización al tipo de información representada, priorizando la claridad, la comparación directa y la reducción del ruido visual dentro del cuadro de mandos.

## 2.5. Diseño del mapa e interactividad

El diseño de los mapas interactivos se ha realizado con el objetivo de representar de forma clara la distribución actual de los cargadores eléctricos en Valencia, las zonas cubiertas por la red existente y las áreas prioritarias para la instalación de nuevos puntos de recarga. Para ello, se han integrado distintas capas espaciales dentro del cuadro de mando desarrollado en Shiny, utilizando Leaflet como herramienta principal de visualización cartográfica.

En primer lugar, se incorporó la capa de cargadores existentes, procedente de los archivos `cargadores_limpios.geojson` y `cargadores_limpios_reproyectado.gpkg`. Esta capa contiene la localización geográfica de los puntos de recarga actuales, junto con información asociada como el precio y características técnicas. En los mapas, los cargadores se representan como puntos, diferenciando su tipo según la clasificación establecida entre cargadores solares y fijos.

También se integró la capa `distritos.gpkg`, que contiene los límites administrativos de los distritos de Valencia. Esta capa funciona como base territorial del análisis, ya que permite representar la información agregada por distrito y facilita la interpretación espacial de los resultados. Sobre ella se visualizan variables como la prioridad, la renta media por hogar o la distribución de los cargadores actuales.

Para analizar la cobertura de la infraestructura existente, se incorporó la capa `buffer_500m.gpkg`, que representa las áreas de influencia de los cargadores en un radio de 500 metros. Esta capa permite identificar visualmente qué zonas quedan cubiertas por la red actual y qué áreas permanecen fuera de dicha cobertura. Su inclusión en el mapa resulta fundamental para interpretar la accesibilidad espacial a los puntos de recarga.

Además, se utilizó la capa `distritos_cobertura_población.gpkg`, que integra variables relacionadas con la cobertura y la población, como el porcentaje de población sin cobertura, la población afectada y los índices de prioridad. Esta información se representa mediante mapas temáticos en los que los distritos aparecen coloreados según su nivel de prioridad, permitiendo identificar las zonas con mayor necesidad de intervención.

La dimensión socioeconómica se incorporó a través de la capa `distritos_con_renta.gpkg`, que contiene la renta media por hogar en cada distrito y variables derivadas de prioridad en función de la renta. Esta capa permite representar la distribución espacial de la renta y relacionarla con la disponibilidad de cargadores eléctricos y con la propuesta final de intervención.

Finalmente, se integró la capa `cargadores_propuestos_renta.gpkg`, que contiene los nuevos puntos de recarga propuestos tras incorporar el análisis de cobertura, población y renta. En el mapa final, esta capa se representa junto con los cargadores actuales y los distritos clasificados por prioridad final ajustada con renta, permitiendo comparar la situación existente con la propuesta de nuevas ubicaciones.

En cuanto a la interactividad, los mapas permiten explorar la información mediante controles propios de Leaflet, como el desplazamiento por el mapa y el cambio de nivel de zoom. Además, se incorporan leyendas, colores diferenciados y ventanas emergentes con información asociada a los elementos representados. Esta interactividad facilita la consulta de los datos y permite analizar de forma más detallada la distribución territorial de los cargadores, las zonas cubiertas y las áreas prioritarias.

En conjunto, el diseño cartográfico del cuadro de mando combina capas de puntos, polígonos y áreas de influencia para representar de manera integrada la infraestructura actual, la cobertura territorial, las variables demográficas y socioeconómicas, y la propuesta final de nuevos cargadores eléctricos.

## 2.6. Diseño del cuadro de mandos

El cuadro de mando desarrollado mediante Shiny se organiza en dos grandes áreas: el panel de control y el área de visualización. El panel lateral permite al usuario interactuar con la aplicación mediante la selección del modo de análisis, diferenciando entre gráficas y mapas, y mediante el filtrado de la información por distrito.

El área principal se adapta dinámicamente según la opción elegida por el usuario. En el modo de gráficas, el contenido se organiza en distintas pestañas, cada una centrada en un aspecto del análisis: la equidad territorial, la relación entre renta y número de cargadores, los tipos de energía, los precios y el estado operativo de la red. Estas visualizaciones permiten analizar la infraestructura de recarga desde diferentes perspectivas, combinando variables demográficas, económicas y técnicas. Además, se incluyen gráficos estáticos e interactivos mediante el uso de librerías como `ggplot2` y `plotly`.

En el modo de mapas interactivos, el cuadro de mando incorpora la dimensión espacial del análisis. A través de distintas pestañas se representan elementos como la localización de los cargadores actuales, las zonas cubiertas mediante buffers de 500 metros, los niveles de prioridad según cobertura y población, la distribución de la renta y la propuesta final de nuevas ubicaciones. Estos mapas, construidos con Leaflet, incorporan elementos como leyendas, colores diferenciados y ventanas emergentes con información detallada.

El diseño visual del cuadro de mando busca facilitar la lectura e interpretación de los resultados. Para ello se utilizan temas y estilos coherentes, cajas contenedoras y textos

explicativos que acompañan a cada visualización. La simbología y la elección de colores permiten diferenciar niveles de prioridad, tipos de cargadores y categorías socioeconómicas.

Finalmente, el cuadro de mando incorpora la reactividad propia de Shiny, de manera que los cambios realizados por el usuario, como la selección de un distrito concreto, actualizan automáticamente los gráficos y mapas sin necesidad de recargar la aplicación.

## 2.7. Implementación

La implementación del cuadro de mando se ha realizado en R mediante una aplicación desarrollada con Shiny, integrando en una misma interfaz el análisis de datos, el tratamiento de información espacial y la visualización interactiva. Para ello se han utilizado distintas librerías especializadas. Entre ellas destacan `sf`, empleada para la gestión de capas geográficas; `readxl`, utilizada para la lectura de datos tabulares; y `tidyverse`, aplicada en la manipulación, limpieza y preparación de los datos.

En una primera fase se cargaron y prepararon las diferentes capas y tablas necesarias para el análisis, incluyendo información sobre cargadores, distritos, buffers y renta. Las capas espaciales se transformaron al sistema de coordenadas WGS84, necesario para su correcta visualización en los mapas interactivos generados con `leaflet`. Además, se crearon nuevas variables que facilitan el análisis posterior, como el tipo de cargador y los indicadores de prioridad.

Una parte relevante de la implementación consistió en la limpieza y homogeneización de los datos. Para ello, se transformaron los identificadores de distrito a formato carácter, se asignaron nombres descriptivos mediante procesos de recodificación y se ajustaron los tipos de variables. Por ejemplo, la renta se convirtió a formato numérico y las categorías de prioridad se definieron como factores ordenados. Asimismo, se detectaron y trataron valores faltantes, como en el caso de la potencia de los cargadores, variable utilizada para clasificar los puntos de recarga en solares o fijos.

Posteriormente, se llevó a cabo el procesamiento de la información mediante funciones de `dplyr`. Los datos se agregaron por distrito para calcular indicadores como el número total de cargadores, la renta media y la cantidad de cargadores por cada 10.000 habitantes. Estos cálculos se combinaron con la información del padrón mediante uniones de tablas, lo que permitió incorporar variables demográficas al análisis. Además, se prepararon conjuntos de datos específicos para alimentar los distintos gráficos y mapas incluidos en la aplicación.

La aplicación se estructuró siguiendo el modelo habitual de Shiny, separando la interfaz de usuario (ui) de la lógica del servidor (server). En la interfaz se definieron los elementos visuales principales, como paneles laterales, selectores, botones de opción y pestañas de contenido. En el servidor se implementó la lógica reactiva de la aplicación, permitiendo que los datos se filtren en función del distrito seleccionado y que tanto los gráficos como los mapas se actualicen automáticamente según las interacciones del usuario.

Las visualizaciones estadísticas se desarrollaron principalmente con `ggplot2`, mediante gráficos como diagramas de barras, `boxplots`, gráficos de tipo *lollipop* y mapas de calor. En algunos casos, estas visualizaciones se complementaron con `plotly`, lo que permitió añadir interactividad, como la visualización de información emergente al pasar el cursor sobre los elementos representados.

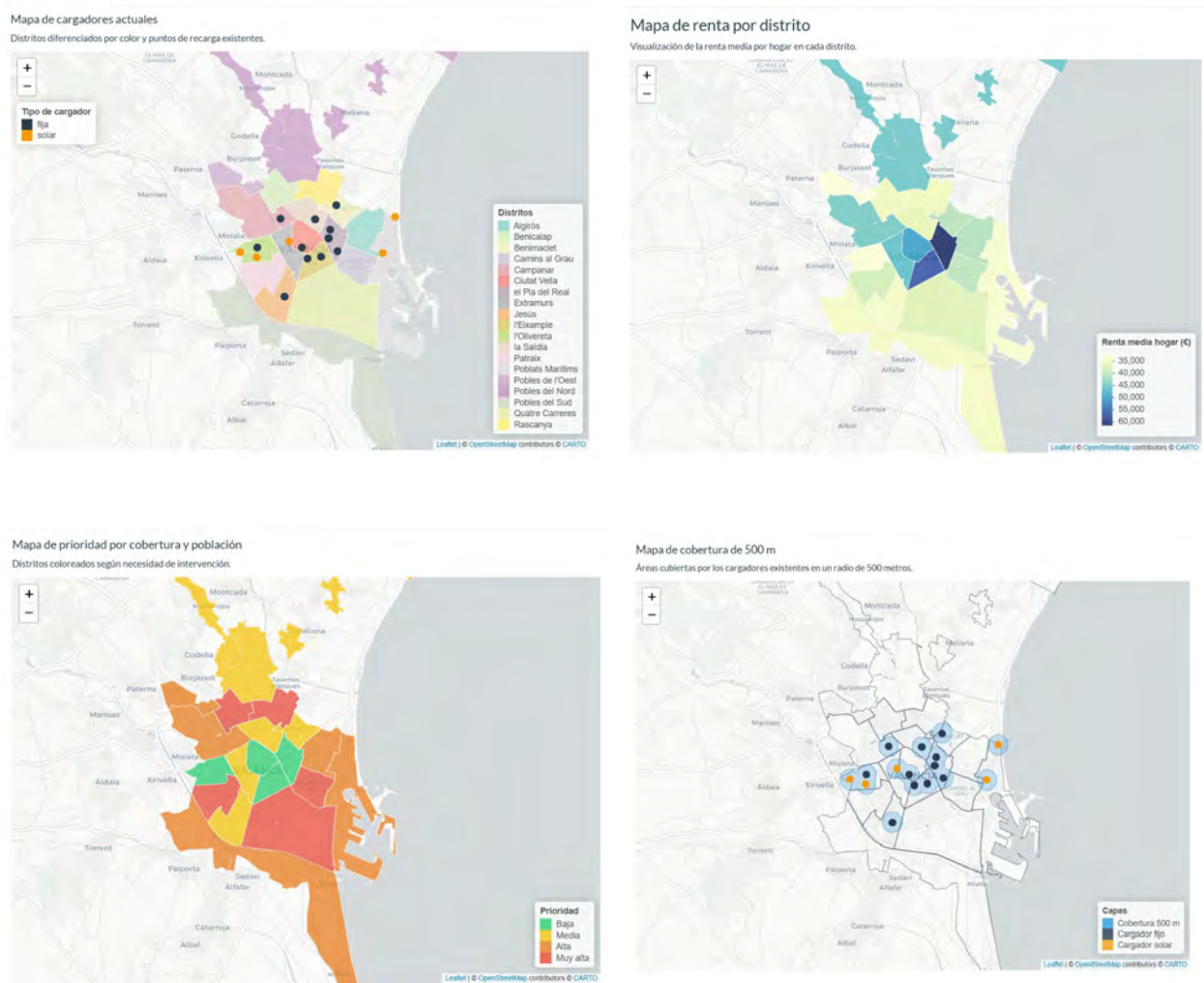
Por otro lado, los mapas interactivos se implementaron con `leaflet`, incorporando capas de polígonos y puntos, simbología mediante escalas de color y ventanas emergentes con

información detallada de cada elemento geográfico. También se desarrolló una lógica específica para cada mapa, incluyendo el filtrado espacial de capas, la aplicación de paletas de colores según variables como la prioridad o la renta, y la incorporación de leyendas que facilitan la interpretación de los resultados.

Además, se utilizaron operaciones espaciales, como la intersección de buffers con distritos, para ajustar la visualización al área seleccionada. De esta forma, la implementación en R permitió integrar los datos preparados, los indicadores calculados, las visualizaciones gráficas y los mapas interactivos en una herramienta dinámica orientada al análisis de la distribución de cargadores eléctricos en la ciudad de Valencia.

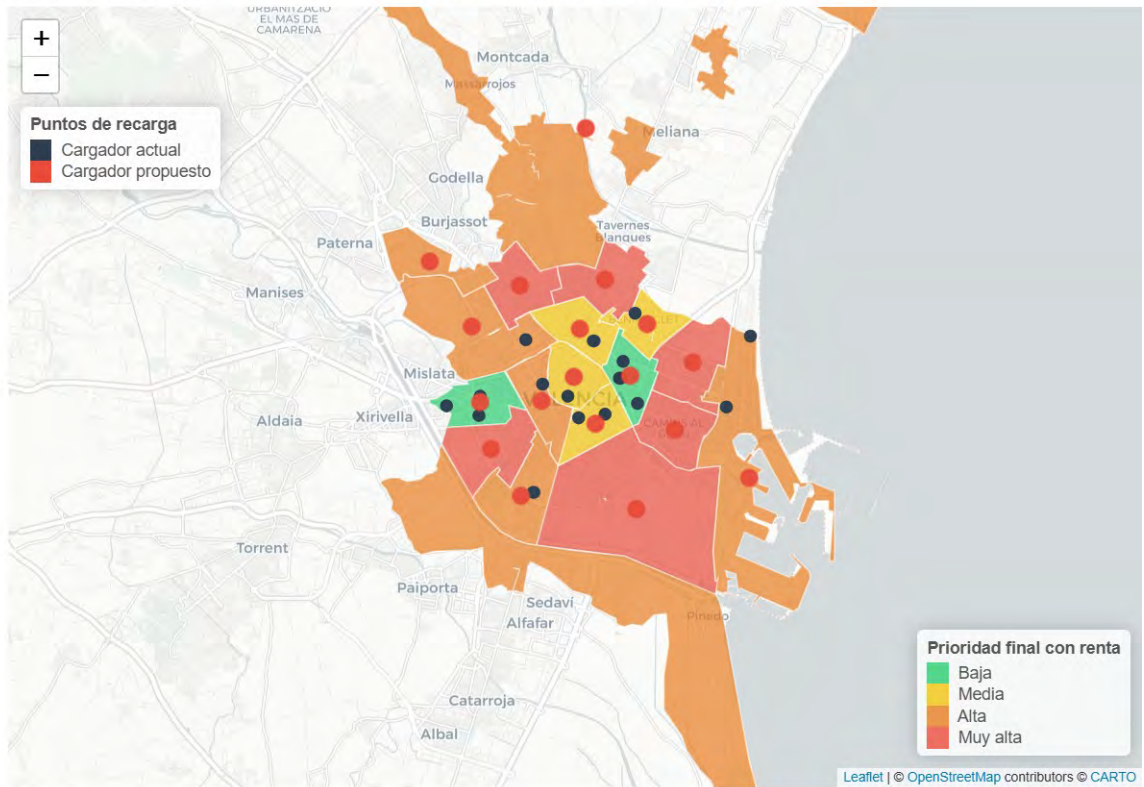
### 3. Resultados

#### Mapas:



# Mapa de propuesta final de cargadores

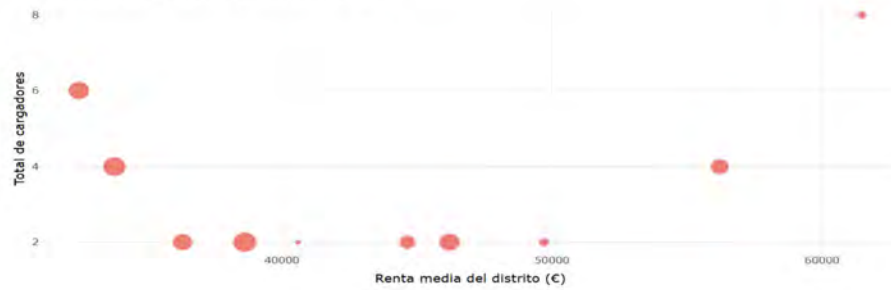
Distritos coloreados por prioridad final ajustada con renta, cargadores actuales y puntos propuestos.



## Gráficas:

Analiza la relación entre nivel socioeconómico y disponibilidad de cargadores.

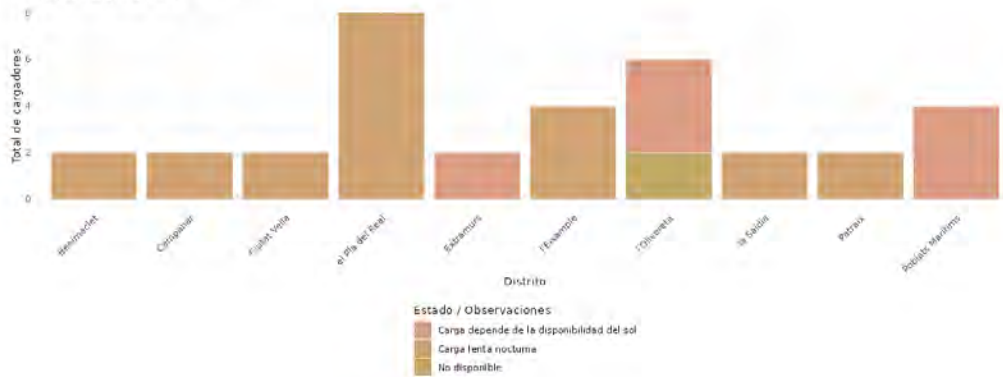
Relación entre renta y puntos de recarga



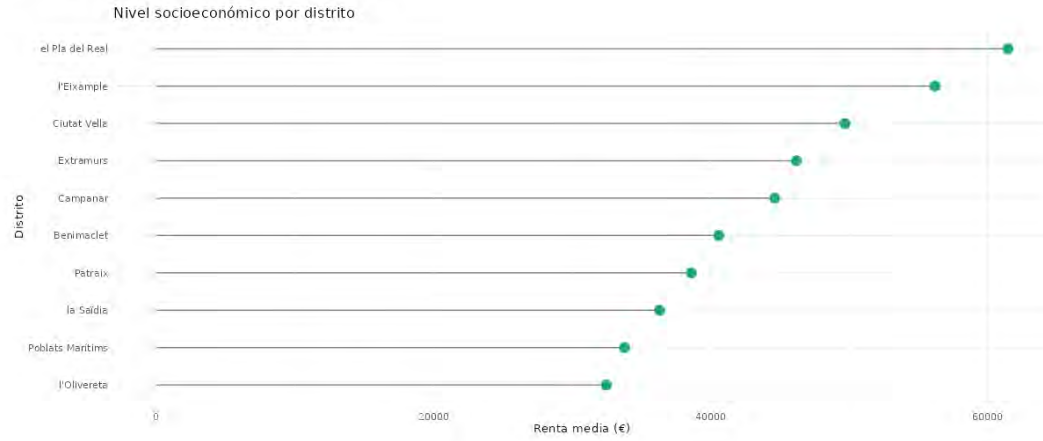
Indica el estado de funcionamiento de los cargadores por distrito.

Estado operativo de los cargadores

Distribución por distrito.



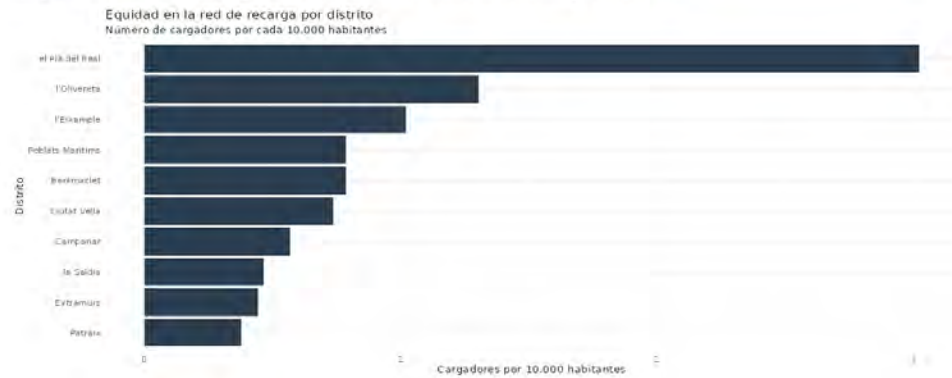
Permite comparar el nivel de renta media entre distritos.



Distribución de cargadores según su fuente energética: fija o solar.



Este gráfico permite identificar desigualdades en el acceso a la infraestructura de recarga entre distritos.

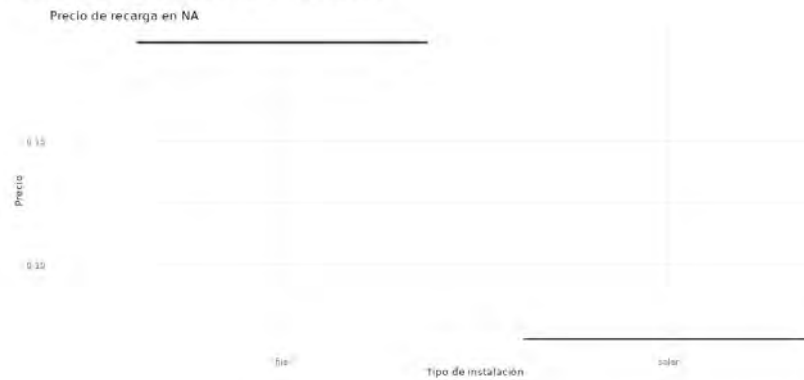


Resumen global del estado de toda la red de cargadores.

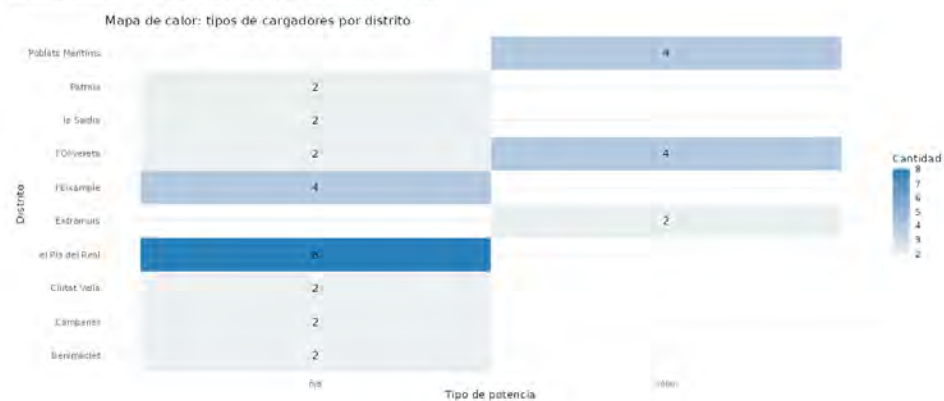


Estado ■ Carga depende de la disponibilidad del sol ■ Carga lenta nocturna ■ no disponible

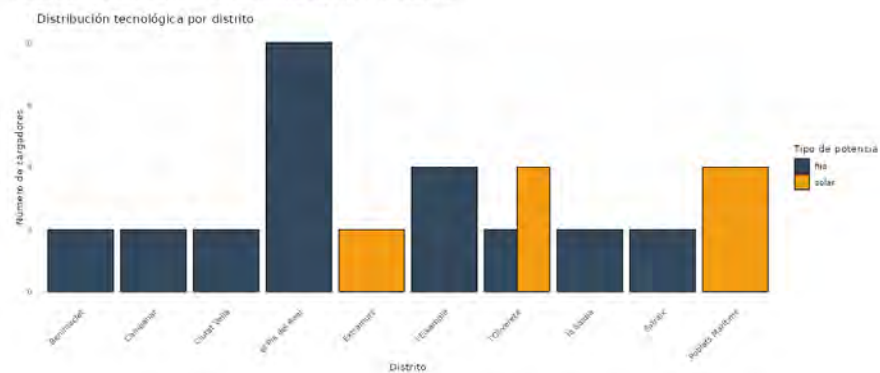
Comparativa del coste de recarga según el tipo de instalación.



Visualización de concentración de tipos de cargadores por distrito.



Muestra cómo se distribuyen los cargadores solares y fijos en cada distrito.



El análisis realizado permite evaluar la distribución actual de los cargadores eléctricos en Valencia desde una doble perspectiva: por un lado, mediante gráficos estadísticos que resumen las características principales de la red de recarga y, por otro, mediante mapas interactivos que muestran su distribución espacial y las zonas con mayor necesidad de

intervención. Los resultados se presentan de forma organizada en torno a la dotación por distrito, la relación con variables socioeconómicas, las características técnicas de los cargadores, la cobertura territorial y la propuesta final de nuevas ubicaciones.

En primer lugar, el análisis de equidad territorial muestra diferencias claras entre distritos en cuanto al número de cargadores por cada 10.000 habitantes. El gráfico de barras horizontales permite observar que el Pla del Real destaca como el distrito con mayor dotación relativa de cargadores, situándose claramente por encima del resto. A continuación aparecen distritos como l'Olivereta y l'Eixample, aunque con valores notablemente inferiores. En cambio, otros distritos como Patraix, Extramurs o la Saïdia presentan una dotación más reducida. Este resultado indica que la infraestructura de recarga no se distribuye de forma homogénea entre los distritos, sino que existen diferencias importantes en el acceso relativo a cargadores.

El gráfico de dispersión entre renta media del distrito y número total de cargadores permite analizar si existe una posible relación entre el nivel socioeconómico y la disponibilidad de infraestructura de recarga. En la visualización se observa que algunos distritos con rentas más elevadas presentan también un número considerable de cargadores, aunque la relación no parece completamente lineal. Es decir, la renta puede ayudar a interpretar parte de la distribución, pero no explica por sí sola la localización de los puntos de recarga. Por ello, resulta necesario combinar esta variable con otros criterios, como la cobertura espacial y la población afectada.

Respecto al tipo de energía o instalación, el gráfico circular muestra que predominan los cargadores de tipo fijo, aunque también existe una proporción relevante de cargadores solares. Esta diferencia se aprecia también en los gráficos por distrito, donde algunos territorios concentran principalmente cargadores fijos, mientras que otros presentan una mayor presencia de cargadores solares. Por ejemplo, en el gráfico de distribución tecnológica por distrito se observa que el Pla del Real concentra el mayor número de cargadores fijos, mientras que distritos como Poblat Marítims o l'Olivereta presentan una presencia destacada de cargadores solares.

En relación con el precio de recarga, la comparación entre tipos de instalación muestra diferencias entre los cargadores fijos y solares. En la visualización se aprecia que los cargadores fijos presentan un precio superior al de los solares. Este resultado puede ser relevante para interpretar no solo la distribución espacial de la red, sino también las condiciones de uso de la infraestructura disponible.

El estado operativo de la red también muestra diferencias entre categorías. En el resumen global se observa que la mayor parte de los cargadores se encuentran asociados a la categoría "Carga lenta nocturna", que representa la proporción mayoritaria del total. También aparece un grupo importante de cargadores cuya carga depende de la disponibilidad del sol, y una proporción menor de puntos figura como "No disponible". En conjunto, estos resultados indican que la red no solo debe analizarse por número de cargadores, sino también por su funcionamiento y disponibilidad real.

Desde el punto de vista espacial, el mapa de cargadores actuales muestra una concentración de puntos de recarga en determinadas zonas de la ciudad. Los cargadores existentes no se reparten de manera uniforme por todo el municipio, sino que se agrupan principalmente en áreas concretas. Esta concentración se confirma en el mapa de cobertura de 500 metros, donde se observa que las zonas cubiertas por los cargadores actuales se localizan sobre todo en el área central y en algunos sectores próximos, mientras que otras partes de la ciudad quedan fuera del área de influencia definida.

El mapa de prioridad por cobertura y población permite identificar qué distritos presentan una mayor necesidad de intervención. Los distritos se clasifican en diferentes niveles de

prioridad, desde baja hasta muy alta, en función de la falta de cobertura y la población afectada. En la visualización se observa que las prioridades más elevadas se concentran en determinadas zonas del municipio, especialmente en áreas donde la cobertura actual de cargadores es insuficiente en relación con la población. Este resultado permite pasar de una simple descripción de la red existente a una identificación de zonas donde sería más conveniente actuar.

El mapa de renta por distrito incorpora una dimensión socioeconómica al análisis. En él se observan diferencias territoriales en la renta media por hogar, con distritos que presentan valores más elevados y otros con niveles inferiores. Esta información se utiliza posteriormente para ajustar la prioridad final, considerando que la renta puede actuar como indicador aproximado de demanda potencial de vehículo eléctrico. No obstante, la renta no se interpreta de forma aislada, sino en combinación con la cobertura existente y la población afectada.

Finalmente, el mapa de propuesta final de cargadores integra los resultados anteriores. En esta visualización se representan conjuntamente los distritos clasificados según la prioridad final ajustada con renta, los cargadores actuales y los puntos propuestos. Los nuevos puntos se sitúan principalmente en zonas con prioridad alta o muy alta, lo que permite orientar la propuesta hacia áreas donde se combinan déficits de cobertura, población potencialmente afectada y criterios socioeconómicos. De este modo, la propuesta final no se limita a añadir cargadores en zonas vacías, sino que responde a una lógica de priorización territorial.

En conjunto, los resultados muestran que la red actual de cargadores eléctricos en Valencia presenta una distribución desigual entre distritos. Algunos territorios cuentan con una dotación relativa más elevada y mayor cobertura, mientras que otros presentan déficits más claros. La combinación de gráficos y mapas permite identificar estas desigualdades, analizar las características técnicas y operativas de la red, y justificar una propuesta de nuevas ubicaciones basada en criterios de cobertura, población y renta.

## 4. Discusión

Los resultados obtenidos permiten interpretar la distribución de los cargadores eléctricos en Valencia en relación con los objetivos planteados inicialmente. El propósito principal del trabajo era analizar la accesibilidad a los puntos de recarga existentes, evaluar su distribución espacial, detectar desigualdades entre distritos y proponer nuevas ubicaciones donde sería conveniente instalar cargadores. A partir de los gráficos y mapas generados, se observa que la red actual no se distribuye de forma homogénea por toda la ciudad, sino que existen diferencias claras entre distritos tanto en número de cargadores como en cobertura territorial.

Uno de los resultados más relevantes es la desigualdad en la dotación de cargadores por cada 10.000 habitantes. El gráfico de equidad territorial muestra que algunos distritos, como el Pla del Real, presentan una disponibilidad relativa de cargadores muy superior a la de otros. En cambio, distritos como Patraix, Extramurs o la Saïdia aparecen con una dotación menor. Esto indica que el acceso a la infraestructura de recarga no depende únicamente de

la existencia de cargadores en la ciudad, sino también de cómo estos se distribuyen en relación con la población de cada distrito.

Desde el punto de vista espacial, los mapas confirman esta desigualdad. El mapa de cargadores actuales muestra una concentración de puntos de recarga en determinadas zonas, mientras que otras áreas cuentan con menor presencia de infraestructura. Esta situación se refleja también en el mapa de cobertura de 500 metros, donde se observa que la red actual cubre principalmente zonas concretas del área urbana, dejando otros sectores fuera del radio de influencia considerado. Por tanto, los buffers han permitido identificar de forma clara qué zonas pueden considerarse cubiertas y qué áreas presentan carencias de accesibilidad.

La incorporación de la población al análisis resulta especialmente importante, ya que permite evitar una interpretación basada únicamente en la superficie sin cobertura. No todas las zonas sin cobertura tienen la misma prioridad: una zona con mucha población afectada puede requerir una intervención más urgente que otra con menor población. Por este motivo, el mapa de prioridad por cobertura y población aporta una lectura más completa del problema, al combinar el déficit espacial con la dimensión demográfica.

La variable de renta introduce una segunda dimensión de interpretación. El gráfico de relación entre renta y puntos de carga muestra que puede existir cierta relación entre nivel socioeconómico y disponibilidad de infraestructura, aunque esta relación no es totalmente directa. Algunos distritos con mayor renta presentan una mayor presencia de cargadores, pero la distribución no se explica únicamente por esta variable. Por ello, la renta se ha utilizado como un criterio complementario, no como el único factor de decisión. Su incorporación permite ajustar la prioridad final considerando la posible demanda potencial de vehículo eléctrico en función de la capacidad económica de los hogares.

En este sentido, el mapa de renta por distrito permite observar diferencias socioeconómicas dentro de la ciudad. Al combinar esta información con la cobertura y la población, la propuesta final de cargadores resulta más completa. El mapa final no solo muestra dónde faltan cargadores, sino también dónde sería más conveniente actuar teniendo en cuenta la población afectada y la renta media por hogar. Esta integración de criterios permite justificar mejor la localización de los puntos propuestos.

Los resultados relacionados con las características técnicas de los cargadores también aportan información relevante. Las gráficas muestran diferencias entre cargadores fijos y solares, así como variaciones en el precio y en el estado operativo de la red. El predominio de determinados tipos de cargadores o estados de funcionamiento indica que no basta con analizar la cantidad de puntos de recarga, sino que también es necesario considerar sus condiciones de uso. Por ejemplo, un distrito puede tener cargadores, pero si una parte de ellos depende de la disponibilidad solar o no se encuentra disponible, la accesibilidad real puede verse reducida.

Las implicaciones de estos hallazgos son principalmente urbanas y territoriales. La propuesta de nuevos cargadores puede ayudar a orientar futuras decisiones de planificación, priorizando zonas donde coinciden varios factores: baja cobertura, población afectada y prioridad ajustada con renta. De esta forma, el análisis puede servir como apoyo para distribuir de manera más equilibrada la infraestructura de recarga y mejorar la accesibilidad al vehículo eléctrico en la ciudad.

No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones y dificultades durante el proceso de elaboración. Aunque los datos utilizados eran actuales, una de las principales dificultades fue encontrarlos y reunirlos en formatos adecuados para el análisis. La información necesaria para el proyecto se encontraba distribuida en distintas fuentes y formatos, por lo

que fue necesario dedicar una parte importante del trabajo a localizar los datos, comprobar su utilidad y prepararlos para su integración en QGIS y R.

Otra limitación es que la propuesta de nuevos cargadores se basa en criterios espaciales, demográficos y socioeconómicos, pero no incorpora otros factores urbanos que serían necesarios para definir ubicaciones definitivas. Por ejemplo, no se han considerado aspectos como la disponibilidad real de aparcamiento, la anchura de las calles, la existencia de acometidas eléctricas, la titularidad del suelo, la normativa municipal o la viabilidad técnica de instalación. Por ello, los puntos propuestos deben entenderse como ubicaciones orientativas que requerirían una revisión posterior más detallada.

También hay que tener en cuenta que el análisis se ha realizado principalmente a escala de distrito. Esta escala permite obtener una visión general de la ciudad, pero puede ocultar diferencias internas dentro de cada distrito. En futuros trabajos sería conveniente realizar un análisis más detallado a nivel de barrio o incluso a escala de calle, especialmente en aquellas zonas clasificadas con prioridad alta o muy alta.

Durante el desarrollo del proyecto también se encontraron varias dificultades técnicas. Una de ellas fue la limpieza y preparación de los datos espaciales, especialmente en el proceso de unión de los barrios para generar la capa de distritos. Fue necesario homogeneizar campos y comprobar que los barrios se agrupaban correctamente en cada distrito para poder trabajar con una unidad territorial coherente. Además, algunos nombres de columnas del dataset original no eran aceptados correctamente por RStudio o generaban problemas en el código, por lo que tuvieron que ser renombrados y adaptados antes de poder utilizarlos en el análisis y en la aplicación Shiny.

Otra dificultad fue la integración de datos procedentes de fuentes y formatos distintos, como archivos JSON, GeoJSON, Excel y GPKG. Cada formato requería un tratamiento específico, y en algunos casos fue necesario corregir tipos de variables, transformar coordenadas, convertir valores textuales a numéricos o resolver problemas de valores ausentes. Estos procesos fueron necesarios para poder unir correctamente la información espacial, demográfica y socioeconómica dentro del cuadro de mando.

Como líneas futuras, sería interesante ampliar el análisis incorporando información adicional sobre tráfico, aparcamientos, equipamientos públicos, estaciones de servicio, demanda real de recarga o disponibilidad de red eléctrica. También sería útil profundizar en la comparación entre distintos escenarios de cobertura, tomando como base los buffers ya generados de 300 y 500 metros, e incorporando otros radios adicionales si fuera necesario. De esta forma, se podría evaluar con mayor detalle cómo cambia la accesibilidad según el criterio de distancia utilizado.

En conjunto, la discusión de los resultados muestra que el análisis realizado cumple con los objetivos del proyecto, ya que permite identificar desigualdades en la distribución de cargadores, evaluar la cobertura territorial y proponer nuevas ubicaciones de forma justificada. Aunque la propuesta final no debe interpretarse como una localización definitiva, sí constituye una base útil para orientar decisiones futuras sobre la ampliación de la red de recarga eléctrica en Valencia.

## 5. Conclusiones

El proyecto ha permitido analizar la distribución de los cargadores eléctricos en la ciudad de Valencia y evaluar su accesibilidad mediante técnicas de análisis espacial y visualización interactiva. A través del uso combinado de datos geográficos, demográficos,

socioeconómicos y técnicos, se ha obtenido una visión amplia de la situación actual de la infraestructura de recarga y de las zonas donde sería conveniente reforzarla.

En primer lugar, se ha comprobado que la distribución de los cargadores eléctricos no es homogénea entre los distritos de Valencia. Algunos distritos presentan una mayor concentración de puntos de recarga y una dotación relativa más elevada, mientras que otros cuentan con una presencia más reducida de infraestructura. Esta desigualdad se observa tanto en los gráficos del cuadro de mandos como en los mapas de localización de cargadores actuales.

En relación con la cobertura territorial, el uso de buffers de 500 metros ha permitido identificar qué zonas de la ciudad pueden considerarse cubiertas por los cargadores existentes y qué áreas quedan fuera de su radio de influencia. Este análisis ha sido fundamental para detectar zonas con baja accesibilidad y para construir los indicadores de prioridad utilizados posteriormente en la propuesta de nuevos puntos de recarga.

La incorporación de la población ha permitido mejorar la interpretación de los resultados, ya que no todas las zonas sin cobertura tienen la misma importancia desde el punto de vista de la planificación urbana. Al considerar la población afectada, el análisis permite priorizar aquellos distritos donde la falta de cobertura puede tener un mayor impacto sobre los residentes.

Además, la inclusión de la renta media por hogar ha añadido una dimensión socioeconómica al estudio. Esta variable se ha utilizado como criterio complementario para ajustar la prioridad final, teniendo en cuenta que los distritos con mayor renta pueden presentar una mayor demanda potencial de vehículo eléctrico. De este modo, la propuesta final no se basa únicamente en la ausencia de cargadores, sino que combina criterios de cobertura, población y renta.

Los resultados también muestran que la infraestructura de recarga debe analizarse no solo por su localización, sino también por sus características técnicas y operativas. Las diferencias entre cargadores fijos y solares, los precios de recarga y el estado operativo de la red aportan información relevante para comprender la disponibilidad real del servicio.

Como resultado final, se han propuesto nuevas ubicaciones para cargadores eléctricos en zonas prioritarias. Estos puntos no deben entenderse como ubicaciones definitivas, sino como una propuesta inicial basada en criterios espaciales y socioeconómicos. Para su implantación real sería necesario completar el análisis con información urbanística y técnica más detallada, como disponibilidad de aparcamiento, accesibilidad, red eléctrica o viabilidad de instalación.

Desde el punto de vista práctico, el trabajo demuestra la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica y de los cuadros de mando interactivos para apoyar la planificación de infraestructuras urbanas. La aplicación desarrollada en Shiny permite consultar los resultados de forma dinámica, comparar distritos, analizar mapas y gráficos, y visualizar de manera integrada la situación actual y la propuesta de mejora.

En conclusión, el análisis realizado responde a los objetivos planteados, ya que permite estudiar la distribución espacial de los cargadores, evaluar su cobertura, identificar desigualdades territoriales y proponer nuevas ubicaciones justificadas. La combinación de análisis espacial, variables demográficas, renta y visualización interactiva ofrece una base sólida para orientar futuras decisiones sobre la ampliación de la red de recarga eléctrica en Valencia.

## 6. Referencias

### Formato APA 7.<sup>a</sup> edición

Ayuntamiento de València. (2026, 26 de marzo). *Plan Local de Residuos*. Ayuntamiento de València. <https://www.valencia.es/cas/campa%C3%B1as-municipales/-/content/plan-local-residuos>

Ayuntamiento de València. (s. f.). *Puntos de recarga para vehículos eléctricos*. Ayuntamiento de València. <https://www.valencia.es/cas/campa%C3%B1as-municipales/-/content/instalacion-de-puntos-de-recarga-para-vehiculos-electricos>

Ayuntamiento de València. (s. f.). *Anuario por capítulos*. Estadística municipal. Recuperado el 11 de mayo de 2026, de <https://www.valencia.es/cas/estadistica/anuario-por-capitulos>

Ayuntamiento de València. (2025). *Padrón Municipal de Habitantes a 01/01/2025*. En *Anuario por capítulos: Demografía*. <https://www.valencia.es/cas/estadistica/anuario-por-capitulos>