

Jose Ignacio Calatayud Cuenca
Miguel Ángel Aloy Poveda
Alberto Cabedo Carreras
Nicolás Aroca Puerto



VISUALIZACIÓN DE DATOS

**Evaluación de la Accesibilidad Inclusiva en el Transporte Público:
Análisis Espacial de la Red EMT orientado a Centros de Mayores
en Valencia**

Mayo 2026

Índice

1. Introducción	3
1.1 Presentación del contexto y la importancia del problema.	3
1.2 Revisión de la literatura relevante.	3
1.3 Objetivos del estudio.	4
2. Metodología	5
2.1 Análisis exploratorio de los datos.	5
2.2 Preprocesado de Datos.	6
2.3 Preprocesado de la información geográfica.	8
2.3.1. Fase Estática (Geoprocesamiento en QGIS)	8
2.3.2. Fase Dinámica (Geoprocesamiento al vuelo en R)	10
2.4 Elección de gráficas para los distintos tipos de datos.	11
2.4.1 Comparación de magnitudes discretas (Gráficos de Barras).	11
2.4.2 Relaciones de proporción (Gráficos de Sectores).	12
2.4.3. Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs Textuales).	13
2.5 Diseño del mapa e interactividad.	15
2.6 Diseño del cuadro de mandos.	16
2.7 Implementación.	18
3. Resultados	19
3.1. Análisis de la cobertura espacial (Escala Macro)	19
3.2. Análisis de la accesibilidad cualitativa (Escala Micro y Trabajo de Campo)	20
3.3. Impacto Demográfico en Corredores (Escala Línea)	21
4. Discusión	22
4.1. Interpretación de resultados frente a los objetivos y la literatura	22
4.2. Implicaciones de los hallazgos	22
4.3. Limitaciones del estudio y trabajos futuros	23
4.4. Dificultades encontradas	23
5. Conclusiones	24
5.1. Conclusiones finales.	24
5.1.1. Evaluación Espacial (Cobertura vs. Accesibilidad):	24
5.1.2. Desarrollo Tecnológico (Implementación del DSS):	24
5.1.3. Integración de Datos (Fusión de fuentes heterogéneas):	24
5.2. Implicaciones prácticas, científicas y propuestas de futuro.	25
6. Referencias	26

1. Introducción

1.1 Presentación del contexto y la importancia del problema.

El envejecimiento demográfico es uno de los principales retos urbanos del siglo XXI. En respuesta a esta realidad, el Ayuntamiento de Valencia desarrolla activamente políticas de envejecimiento activo, como demuestra la reciente apertura del Centro Sociocultural de Mayores El Pilar en noviembre de 2025 y su campaña de inscripción a actividades de marzo de 2026. Sin embargo, para que estas estrategias municipales vinculadas a las campañas del Ayuntamiento tengan un impacto real, es imperativo que vayan acompañadas de una infraestructura urbana que garantice la movilidad autónoma de la tercera edad.

El problema fundamental radica en que la mera proximidad geográfica a una parada de la EMT no equivale a una accesibilidad efectiva. Para las personas mayores, el estándar de caminata confortable se reduce drásticamente a un radio de 150 metros. Si una parada situada dentro de este umbral carece de elementos de descanso o protección climática (asientos o marquesinas), se transforma en una barrera física invisible, generando lo que se conoce como "desiertos de transporte cualitativos".

La visibilización de este problema choca con una barrera institucional: los portales de Datos Abiertos, como el de la ciudad de Valencia, proporcionan la topología de la red (rutas y paradas), pero omiten frecuentemente la información sobre el mobiliario urbano. En este contexto, el presente trabajo nace como respuesta directa al reto lanzado por la cátedra Inteligencia Artificial y Visualización de Información para el Gobierno Abierto a la Ciudad de Valencia, asumiendo el desafío de presentar propuestas innovadoras de visualización de datos que destaquen la realidad de la accesibilidad urbana.

1.2 Revisión de la literatura relevante.

La literatura científica sobre urbanismo subraya la necesidad de transitar hacia el modelo de "Ciudades Amigables con las Personas Mayores" promovido por la OMS. Para auditar esta equidad espacial, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como la herramienta analítica estándar.

Paralelamente, el paradigma del Gobierno Abierto fomenta activamente la reutilización de datos públicos para mejorar los servicios a la ciudadanía. Sin embargo, diversas investigaciones advierten sobre las limitaciones de los catálogos oficiales, que suelen omitir el micro-diseño urbano. Para solventar esta brecha institucional, la academia valida el uso de Información Geográfica Voluntaria (VGI). Plataformas colaborativas como OpenStreetMap (OSM) han demostrado ser fuentes fiables para cartografiar la accesibilidad a escala humana y complementar los vacíos gubernamentales.

Por último, en el cruce entre la Ciencia de Datos y la geografía, destaca la transición metodológica desde la cartografía estática hacia la Analítica Visual Interactiva. El desarrollo de Cuadros de Mando (Dashboards) permite democratizar modelos espaciales complejos, transformando datos crudos en inteligencia visual accionable para la toma de decisiones.

1.3 Objetivos del estudio.

Alineado con el supuesto práctico de la asignatura, el presente miniproyecto se diseña bajo un enfoque integral de Ciencia de Datos, estableciendo cuatro objetivos principales:

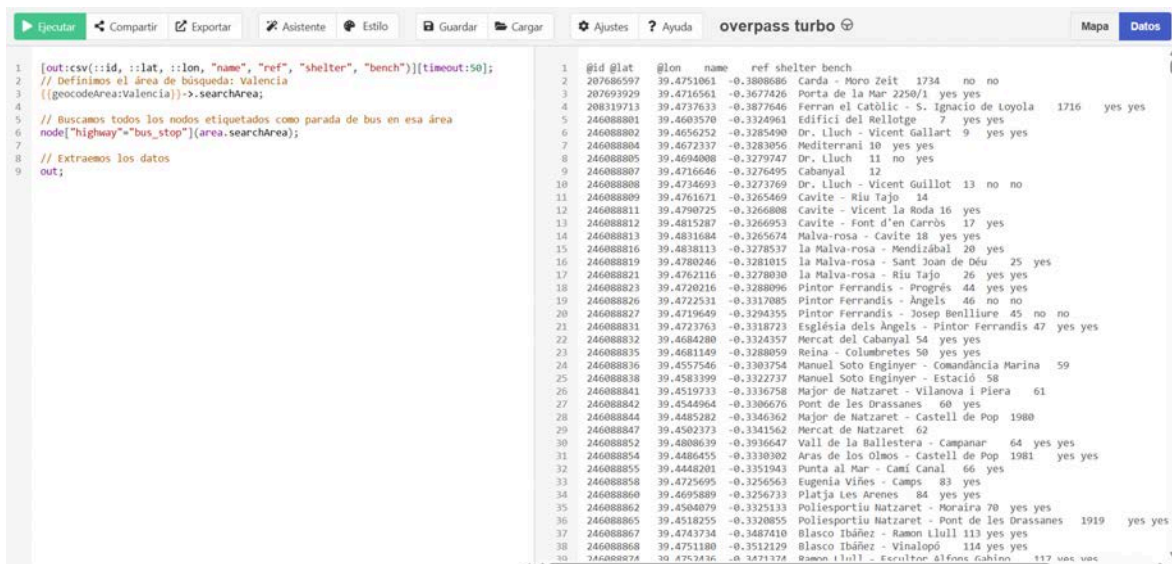
1. **Evaluación Espacial:** Evaluar el nivel de cobertura teórica y accesibilidad real de la red EMT respecto a los centros de mayores (campañas de envejecimiento activo) y los distritos más envejecidos de la ciudad.
2. **Desarrollo Tecnológico:** Diseñar y desplegar un Cuadro de Mandos Interactivo web mediante el framework Shiny y mapas interactivos con Leaflet. Este sistema permitirá visualizar cruces de datos en tres dimensiones analíticas: Macro (ciudad), Micro (entornos locales) y Corredores (líneas de transporte).
3. **Integración de Datos:** Desarrollar un motor de fusión que mitigue la opacidad institucional integrando el trabajo de campo propio, OpenStreetMap (VGI) y los datos abiertos oficiales del portal del Ayuntamiento.
4. **Propuesta de Mejoras:** Identificar carencias en los conjuntos de datos abiertos actuales y proponer mejoras concretas en la recopilación de información pública para fomentar una movilidad verdaderamente inclusiva.

2. Metodología

2.1 Análisis exploratorio de los datos.

Para la realización del proyecto se han utilizado y cruzado los siguientes conjuntos de datos:

- **Padrón Municipal (2025):** Fichero estructurado proporcionado por la Oficina de Estadística que detalla la población de la ciudad segmentada por distritos, barrios y franjas de edad.
- **Cartografía de Distritos:** Archivo vectorial en formato GeoJSON descargado del portal Open Data Valencia, el cual contiene la delimitación espacial y geometría de las zonas administrativas de la ciudad.
- **Paradas de la red EMT:** Archivo vectorial (GeoJSON) del portal Open Data Valencia con la ubicación topológica de los nodos de transporte (coordenadas) y sus líneas de autobús asociadas.
- **Centros de Mayores y Auditoría de Campo (Elaboración propia):** Fichero CSV que contiene la geolocalización de centros socioculturales específicos (ej. El Pilar) y un levantamiento de datos manual (auditoría in situ) sobre el estado real de las paradas circundantes.
- **Mobiliario Urbano (OpenStreetMap - VGI):** Datos masivos extraídos mediante consultas a la API de Overpass Turbo. Se filtraron los nodos de transporte público de Valencia que contienen explícitamente las etiquetas de accesibilidad física (bench para asientos y shelter para marquesinas).



The screenshot shows the Overpass Turbo interface with a query in the left pane and the resulting CSV data in the right pane. The query filters for bus stops with bench or shelter amenities in Valencia.

```
1 [out:csv(;;id,::lat,::lon,"name","ref","shelter","bench")] [timeout:50];
2 // Definimos el área de búsqueda: Valencia
3 {{geocode:area:Valencia}}->.searchArea;
4
5 // Buscamos todos los nodos etiquetados como parada de bus en esa área
6 node["highway"="bus_stop"](area.searchArea);
7
8 // Extraemos los datos
9 out;
```

#	id	lat	lon	name	ref	shelter	bench
1	207693529	39.4716561	-0.3677426	Porta de la Mar	2550/1	yes	yes
2	207693529	39.4716561	-0.3677426	Porta de la Mar	2550/1	yes	yes
3	207693529	39.4716561	-0.3677426	Porta de la Mar	2550/1	yes	yes
4	208319713	39.4737633	-0.3877646	Ferran el Catòlic - S. Ignacio de Loyola	1716	yes	yes
5	246088801	39.4603570	-0.3284961	Edifici del Relletge	7	yes	yes
6	246088802	39.4656252	-0.3285490	Dr. Lluch - Vicent Gallart	9	yes	yes
7	246088804	39.4672337	-0.3283056	Mediterrani	10	yes	yes
8	246088805	39.4694088	-0.3279747	Dr. Lluch	11	no	yes
9	246088807	39.4716646	-0.3276495	Cabanyal	12	no	no
10	246088808	39.4734693	-0.3273769	Dr. Lluch - Vicent Gullot	13	no	no
11	246088809	39.4761671	-0.3265469	Cavite - Riu Tajo	14	no	no
12	246088811	39.4790725	-0.3266808	Cavite - Vicent La Roda	16	yes	yes
13	246088812	39.4815287	-0.3266953	Cavite - Font d'en Caròs	17	yes	yes
14	246088813	39.4831684	-0.3265674	Malva-rosa - Cavite	18	yes	yes
15	246088816	39.4838113	-0.3278537	la Malva-rosa - Mendizábal	20	yes	yes
16	246088819	39.4780246	-0.3281015	la Malva-rosa - Sant Joan de Déu	25	yes	yes
17	246088821	39.4762116	-0.3278030	la Malva-rosa - Riu Tajo	26	yes	yes
18	246088823	39.4720216	-0.3288096	Pintor Ferrandis - Progrés	44	yes	yes
19	246088826	39.4722531	-0.3317085	Pintor Ferrandis - Angels	46	no	no
20	246088827	39.4719649	-0.3294355	Pintor Ferrandis - Josep Benlliure	45	no	no
21	246088831	39.4723763	-0.3318723	Església dels Angels - Pintor Ferrandis	47	yes	yes
22	246088832	39.4684280	-0.3324357	Mercat del Cabanyal	54	yes	yes
23	246088835	39.4681149	-0.3288059	Reina - Columbretes	50	yes	yes
24	246088836	39.4557546	-0.3303754	Manuel Soto Enginyer - Comandancia Marina	59	no	no
25	246088838	39.4583399	-0.3322737	Manuel Soto Enginyer - Estació 58	58	no	no
26	246088841	39.4519733	-0.3336758	Major de Natzarret - Villanova i Piera	61	no	no
27	246088842	39.4544964	-0.3306676	Pont de les Drassanes	60	yes	yes
28	246088844	39.4485282	-0.3346362	Major de Natzarret - Castell de Pop	1980	no	no
29	246088847	39.4502373	-0.3341562	Mercat de Natzarret	62	no	no
30	246088852	39.4808639	-0.3936647	Vall de la Ballestera - Campanar	64	yes	yes
31	246088854	39.4486455	-0.3330302	Aras de los Olmos - Castell de Pop	1981	yes	yes
32	246088855	39.4448201	-0.3351943	Punta al Mar - Camí Canal	66	yes	yes
33	246088858	39.4725695	-0.3256563	Eugenia Vives - Camps	83	yes	yes
34	246088860	39.4695889	-0.3256733	Platja les Arenes	84	yes	yes
35	246088862	39.4584079	-0.3325133	Poliesportiu Natzarret - Moraira	70	yes	yes
36	246088865	39.4518255	-0.3320855	Poliesportiu Natzarret - Pont de les Drassanes	1919	yes	yes
37	246088867	39.4743734	-0.3487410	Blasco Ibañez - Ramon Llull	113	yes	yes
38	246088868	39.4751180	-0.3512129	Blasco Ibañez - Vinalopó	114	yes	yes
39	246088876	39.4752436	-0.3471376	Ramon Llull - Escaliner	61605	yes	yes

Figura 1-2.1. Consulta realizada a la API de Overpass Turbo.

2.2 Preprocesado de Datos.

Las técnicas de limpieza incluyeron la normalización de identificadores del padrón (creando la columna numérica ID_Distrito) para su vinculación cartográfica, tanto para los distritos como para los barrios.

```
app.R x preprocesado_distritos_padrón.R x preprocesado_barríos_padrón.R x ejemplos_clase_Dani.Rmd x
1 | Titulo Explicativo: Script de Limpieza y Unión Espacial del Padrón Municipal de Valencia
2 # Descripción: Resuelve la estructura de 3 filas por distrito y suma las últimas 6 franjas de edad.
3
4 library(sf)
5 library(dplyr)
6 library(readxl)
7
8 # 1. LEER LOS ARCHIVOS
9 distritos <- st_read("Datos/districtes-distritos.geojson")
10 padron <- read_xlsx("Datos/padron_distritos.xlsx")
11
12 # 2. ARREGLAR LOS NOMBRES DE LAS COLUMNAS
13 # Forzamos a que la primera columna se llame 'Distrito', ignorando el nombre original
14 colnames(padron)[1] <- "Distrito"
15
16 # Identificamos automáticamente los nombres de las últimas 6 columnas (las franjas de >65 años)
17 # Así evitamos errores tipográficos con símbolos como "≥" o espacios.
18 ultimas_6_cols <- colnames(padron)[(ncol(padron)-5):ncol(padron)]
19
20 # 3. LIMPIEZA Y CÁLCULO
21 padron_procesado <- padron %>%
22 # Trampa 3: Filtramos las filas del final quedándonos solo con las que empiezan por un número
23 filter(grepl("^[0-9]", Distrito)) %>%
24 # Extraemos el número ("1. Ciutat Vella" -> 1)
25 mutate(ID_Distrito = as.numeric(gsub("^[0-9]+.*$", "\\1", Distrito))) %>%
26 # Trampa 2: Como hay 3 filas por distrito (Total, Hombres, Mujeres), al agrupar
27 # y coger el valor máximo, nos quedamos automáticamente con la fila del "Total"
28 group_by(ID_Distrito) %>%
29 summarise(across(everything(), max, na.rm = TRUE)) %>%
30 # Sumamos las columnas de la tercera edad seleccionadas previamente
31
1:1 (Top Level) ↓
Console
```

Figura 1-2.2. Fragmento del código en R encargado de la limpieza de los datos contenidos en el csv del padrón y el cálculo de población mayor de 65 años para cada distrito.

```
app.R x preprocesado_distritos_padrón.R x preprocesado_barríos_padrón.R x ejemplos_clase_Dani.Rmd x
1 # Titulo Explicativo: Script de Limpieza y Unión Espacial del Padrón de Barrios
2 # Descripción: Lee directamente la hoja 11 del Excel oficial del Padrón Municipal
3 # y extrae el total de personas mayores de 65 años (hombres + mujeres).
4
5 library(sf)
6 library(dplyr)
7 library(readxl)
8 library(stringr)
9
10 # 0. ESTABLECER EL DIRECTORIO DE TRABAJO
11 setwd("C:/Users/user/Desktop/Lectivo/Universidad Ciencia de Datos/Segundo Curso - Segundo Cuatrimestre/Visualización de Datos/Mi
12
13 # 1. LEER LOS ARCHIVOS
14 ruta_geojson <- "Datos/barrios.geojson"
15 ruta_excel <- "Datos/020101_PadronMunicipal.xlsx" # ATENCIÓN: Asegúrate de que el nombre del Excel es correcto.
16
17 capa_barríos <- st_read(ruta_geojson)
18
19 # Leemos específicamente la hoja '11' y saltamos las 3 primeras líneas de títulos
20 padron_barríos <- read_excel(ruta_excel, sheet = "11", skip = 3)
21
22 # 2. LIMPIEZA DE COLUMNAS
23 # Nombramos manualmente las columnas porque las originales del Excel están agrupadas y mal formadas.
24 colnames(padron_barríos) <- c(
25   "Barrio_Origen",
26   "Total_Absoluto", "Total_Varones", "Total_Mujeres",
27   "Edad_0_15_Total", "Edad_0_15_V", "Edad_0_15_M",
28   "Edad_16_64_Total", "Edad_16_64_V", "Edad_16_64_M",
29   "Mayores_65_Total", "Mayores_65_V", "Mayores_65_M"
30 )
31
1:1 (Top Level) ↓
Console
```

Figura 2-2.2. Fragmento del código en R con la misma función para cada barrio.

Ante la limitación estructural del portal de datos abiertos del Ayuntamiento—que omite la infraestructura física de las paradas—se diseñó un motor algorítmico de fusión de datos basado en una **Jerarquía de Fiabilidad**. Este motor se ejecuta en R tras la carga interactiva del fichero CSV de auditoría por parte del usuario, cumpliendo así con los requisitos dinámicos de la interfaz. La fusión se resuelve programáticamente cruzando las tablas por el identificador único del nodo (*id_parada / ref*) y aplicando la función *coalesce* de la librería *dplyr* para rellenar los vacíos de información en el siguiente orden de prioridad:

1. **Prioridad 1 (Trabajo de Campo - Máxima fiabilidad):** Datos recolectados manualmente in situ y subidos mediante la plantilla CSV de la aplicación.
2. **Prioridad 2 (OpenStreetMap - Autocompletado):** En caso de valores nulos (NA) en el CSV, el algoritmo rescata los datos de mobiliario de la base colaborativa VGI.
3. **Prioridad 3 (Base Oficial EMT - Geometría base):** Si la parada no existe en los niveles anteriores, adquiere las coordenadas oficiales, pero su mobiliario queda clasificado como "Sin auditar".

```

781- } else {
782- # Si el CSV subido está vacío, inyectamos NAs para mantener la estructura de la tabla intacta
783- emt_unida <- emt_base_ligera %>% mutate(Asiento_CSV = NA_character_, Marquesina_CSV = NA_character_)
784- }
785-
786- # Retornamos a coordenadas geográficas WGS84 para compatibilidad nativa con Leaflet
787- emt_unida <- emt_unida %>% st_transform(4326)
788-
789- # 3. Aplicación de la Jerarquía de Fiabilidad
790- emt_unida <- emt_unida %>%
791-   mutate(
792-     # Convertimos strings vacíos o NAs implícitos a NA reales (vital para funciones lógicas)
793-     Asiento_CSV = ifelse(is.na(Asiento_CSV) | Asiento_CSV == "", NA, Asiento_CSV),
794-
795-     # COALESCE: Devuelve el primer valor no nulo.
796-     # Prioridad 1: Auditoría Manual (CSV). Prioridad 2: OpenStreetMap.
797-     Asiento_Final = coalesce(Asiento_CSV, Asiento_OSM),
798-     Marquesina_Final = coalesce(Marquesina_CSV, Marquesina_OSM),
799-     # Trazabilidad: Etiquetamos el origen del dato final para la gráfica de fuentes
800-     Fuente = case_when(
801-       !is.na(Asiento_CSV) ~ "Auditoría Manual (CSV)",
802-       !is.na(Asiento_OSM) ~ "OpenStreetMap",
803-       TRUE ~ "Sin datos"
804-     )
805-   )
806-
807-   return(emt_unida)
808- })
809-
810-

```

Figura 3-2.2. Fragmento del código encargado de la aplicación de la Jerarquía de Fiabilidad para la integración del CSV de usuario con fuentes oficiales y OSM.

Finalmente, dentro de esta fase de tratamiento de cadenas de texto, se aplicaron expresiones regulares (*stringr*) para la extracción y limpieza de las líneas de la EMT. Se diseñó un algoritmo de ordenación alfanumérica inteligente que separa prefijos de números puros para ordenar de forma natural los menús desplegables (ej. 1, 2, 10, C1, N1), mejorando drásticamente la experiencia de usuario (UX).

2.3 Preprocesado de la información geográfica.

El análisis espacial de este proyecto se ha diseñado bajo una arquitectura híbrida, dividiéndose en dos fases complementarias: un preprocesamiento estático exhaustivo y un geoprocesamiento dinámico al vuelo.

2.3.1. Fase Estática (Geoprocesamiento en QGIS)

Para evaluar la cobertura teórica de la red, se requirió calcular zonas de influencia (buffers) alrededor de las paradas de la EMT, cumpliendo así con las exigencias espaciales del supuesto práctico. Dado que las coordenadas originales del portal Open Data se encontraban en un Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) geográfico (EPSG: 4326 - WGS84), el primer paso consistió en re proyectar la capa de paradas al sistema proyectado oficial EPSG: 25830 (ETRS89 / UTM zone 30N). Esta conversión es indispensable para que los algoritmos calculen las distancias en metros métricos reales y no en grados decimales.

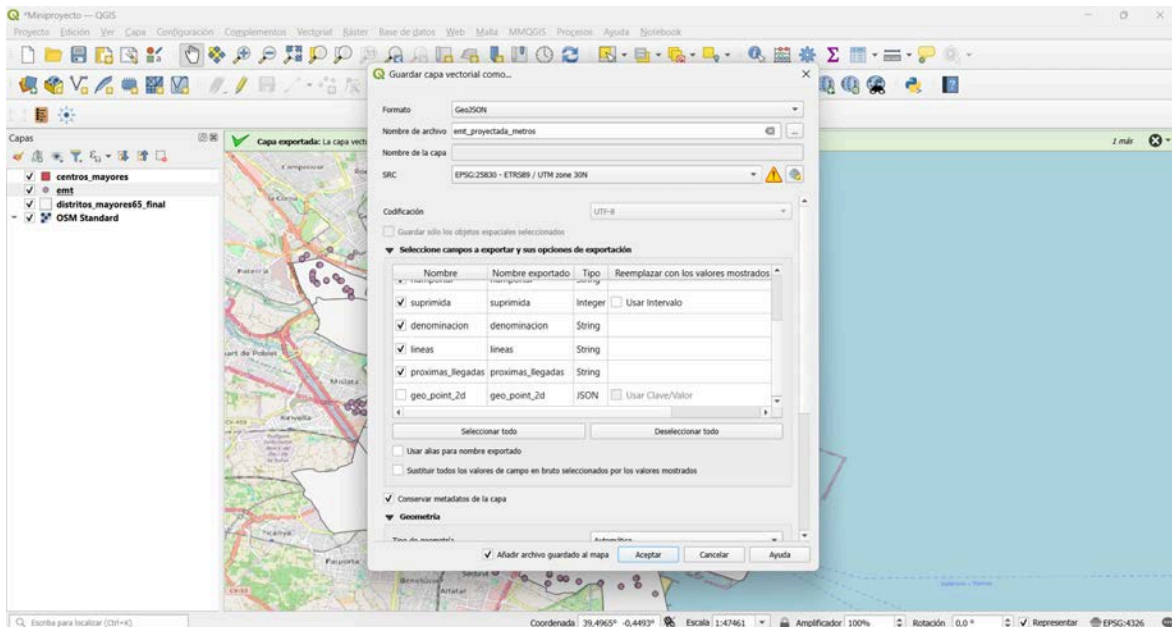


Figura 1-2.3.1. Reproyección cartográfica de la capa emt.geojson del SRC estándar EPSG: 4326 al sistema proyectado EPSG: 25830 en QGIS.

Una vez proyectada la geometría, se calcularon dos niveles de zonas de influencia (buffers): uno de 150 metros (representando el estándar de movilidad reducida para la tercera edad) y otro de 300 metros (estándar urbanístico general). Finalmente, las capas resultantes se re proyectaron de vuelta a EPSG: 4326 y se exportaron en formato vectorial (GeoJSON) para garantizar su compatibilidad nativa con la librería Leaflet en R.

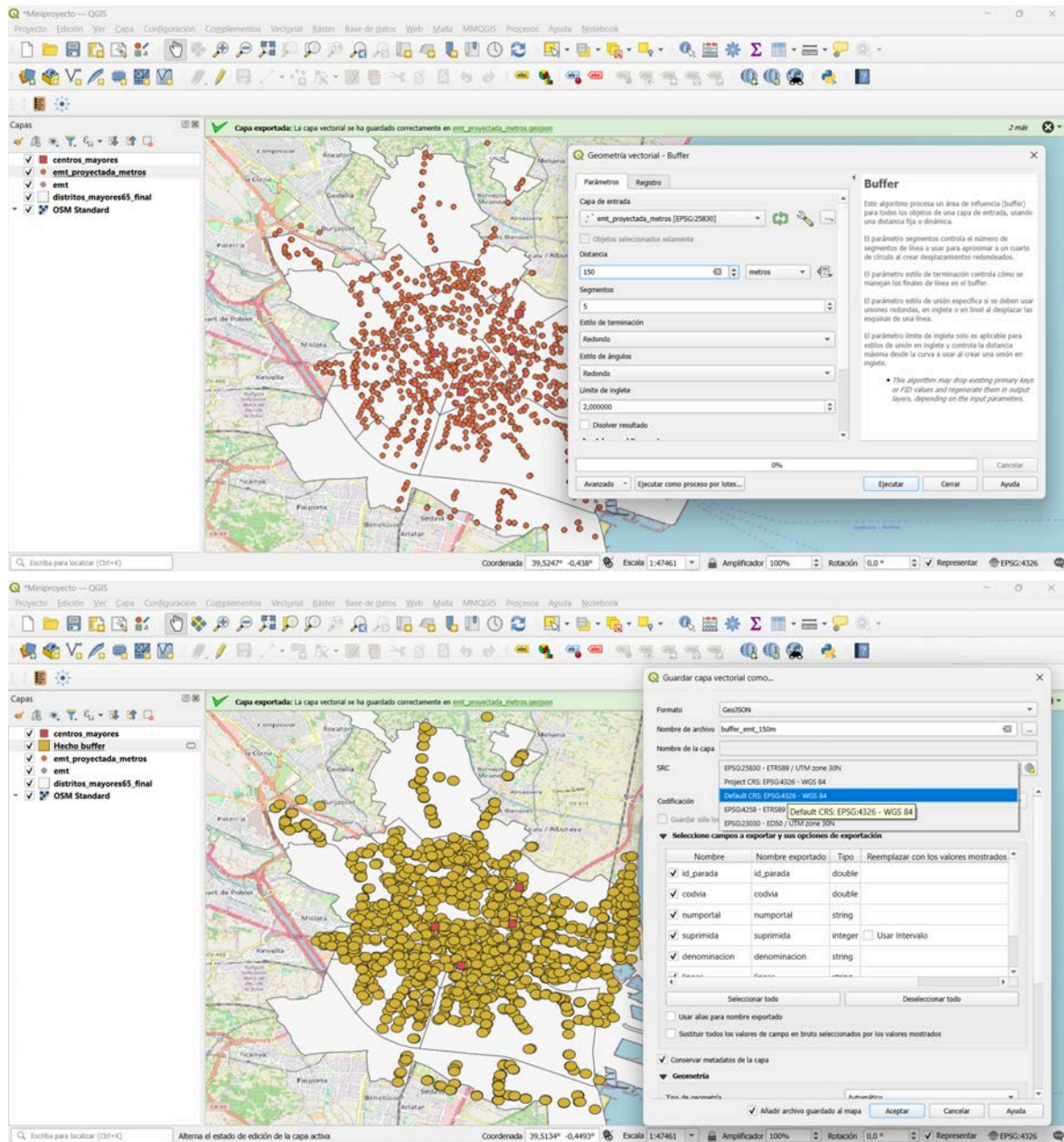


Figura 2 y 3-2.3.1. Cálculo de áreas de influencia perimetrales (150m y 300m) y exportación de la geometría resultante a formato GeoJSON para su integración en el Cuadro de Mandos.

2.3.2. Fase Dinámica (Geoprocesamiento al vuelo en R)

Para dotar al sistema de capacidad analítica en tiempo real (Soporte a la Decisión), se implementó un motor espacial utilizando la librería *sf* (Simple Features) en R. Cuando el usuario interactúa con la aplicación (por ejemplo, ajustando el radio de un Centro de Mayores o seleccionando una línea de bus), el servidor ejecuta operaciones de superposición espacial instantáneas (*st_intersects* y *st_filter*). Esto permite aislar espacialmente qué paradas, barrios o distritos específicos intersectan con el radio de acción seleccionado, actualizando toda la interfaz en consecuencia.

```
601
602 # 3.7 Geoprocesamiento y Actualización Dinámica del Mapa
603
604 # 3.7.1 cálculo reactivo del área de estudio (Búfer Local)
605 # Se calcula de forma independiente para el modo "Centro"
606 - area_estudio <- reactive({
607   # Nos aseguramos de estar en el modo correcto y tener un centro seleccionado
608   req(input$modo_analisis == "Centro", input$centro)
609   # Filtramos los datos globales para obtener las coordenadas del centro
610   sel <- datos_globales() %>% filter(Centro_Mayores == input$centro) %>% head(1)
611
612   # VALIDACIÓN QUIRÚRGICA: Evita que 'sf' colapse si los datos aún se están sincronizando
613   req(nrow(sel) > 0)
614
615   # Convertimos las coordenadas en un objeto espacial (punto) usando el CRS 4326 (WGS84)
616   centro_sf <- st_as_sf(sel, coords = c("Lng_Centro", "Lat_Centro"), crs = 4326)
617
618   # Geoprocesamiento al vuelo:
619   # 1. Proyección a metros (ETRS89 / UTM zone 30N - EPSG:25830) para calcular distancias métricas reales
620   # 2. Generación del búfer con el radio indicado por el usuario mediante el slider
621   # 3. Vuelta a coordenadas geográficas (WGS84 - EPSG:4326) para ser compatibles con Leaflet
622   centro_sf %>% st_transform(25830) %>% st_buffer(input$radio_km) %>% st_transform(4326)
623 - })
624
625 # 3.7.2 Actualización Cartográfica (Router de Capas)
626 - observe({
627   # Dependencias reactivas requeridas: Modo de análisis y la capa de paradas enriquecida
628   req(input$modo_analisis, emt_enriquecida())
629   capa_fusionada <- emt_enriquecida()
630 - })
```

```
823
824 # st_intersects recorta y se retira la geometría para aligerar la tabla resultante
825 - return(st_drop_geometry(df_completo[st_intersects(df_completo, zona_sel, sparse = FALSE)[,1], ]))
826 - } else {
827 - return(st_drop_geometry(df_completo))
828 - }
829
830 # B) MODO ENTORNO LOCAL: Recorte por Búfer circular + Filtro de Línea
831 - } else if (input$modo_analisis == "Centro") {
832   req(area_estudio())
833   # 1. Filtro Espacial: Paradas que caen estrictamente dentro del radio (150m-300m)
834   df_centro <- df_completo[st_intersects(df_completo, area_estudio(), sparse = FALSE)[,1], ]
835   # 2. Filtro Cruzado: Si el usuario eligió una línea específica en el 3º desplegable
836   if (!is.null(input$filtro_linea_centro) && input$filtro_linea_centro != "Todas") {
837     df_centro <- df_centro %>% filter(grepl(paste0("\\b", input$filtro_linea_centro, "\\b"), lineas))
838   }
839   return(st_drop_geometry(df_centro))
840
841 # C) MODO CORREDOR EMT: Recorte por Línea + Filtro de Distrito/Barrio
842 - } else if (input$modo_analisis == "Línea") {
843   req(input$linea)
844   # 1. Filtro Regex: Límite de palabra (\b) asegura que busque la línea "7" no extraiga la "73"
845   df_linea <- df_completo %>% filter(grepl(paste0("\\b", input$linea, "\\b"), lineas))
846   # 2. Filtro Cruzado Espacial: Si el usuario quiere aislar el paso de la línea por un barrio concreto
847   if (!is.null(input$filtro_zona_linea) && input$filtro_zona_linea != "Todas") {
848     capa_z <- if(input$nivel_geografico == "distritos") capa_distritos %>% filter(Distrito == input$filtro_zona_linea) else capa_barrios
849     df_linea <- df_linea[st_intersects(df_linea, capa_z, sparse = FALSE)[,1], ]
850   }
851   return(st_drop_geometry(df_linea))
852 - }
```

Figura 1 y 2-2.3.2. Lógica de visibilidad dinámica implementada con la librería *sf*. El código muestra la creación de buffers reactivos y las intersecciones topológicas (*st_intersects*) ejecutadas en tiempo real en el servidor.

2.4 Elección de gráficas para los distintos tipos de datos.

Se ha optado por gráficos de barras reactivas implementadas de forma nativa con la librería plotly. Esta elección metodológica permite no solo comparar de forma intuitiva magnitudes discretas (paradas adaptadas vs. no adaptadas vs. sin auditar), sino también dotar a las visualizaciones de interactividad analítica avanzada. Mediante barras de herramientas emergentes y menús de exportación fotográfica integrados, las gráficas adaptan automáticamente el volumen y la presentación de los datos según la escala del análisis seleccionado en el cuadro de mandos (toda la ciudad, un entorno local específico o el pasillo de una única línea de autobús).

2.4.1 Comparación de magnitudes discretas (Gráficos de Barras).

Para evaluar la infraestructura de accesibilidad (disponibilidad de asientos y marquesinas), se optó por gráficos de barras categóricos. Esta codificación visual (longitud de barra y color semántico: verde/azul para "Sí", rojo/naranja para "No", gris para "Sin auditar") es la más eficiente para que el ojo humano compare volúmenes absolutos de paradas adaptadas frente a las deficientes. Además, estas barras reaccionan automáticamente modificando su escala según si el usuario visualiza toda Valencia (escala Macro), un barrio, o el pasillo de una única línea.

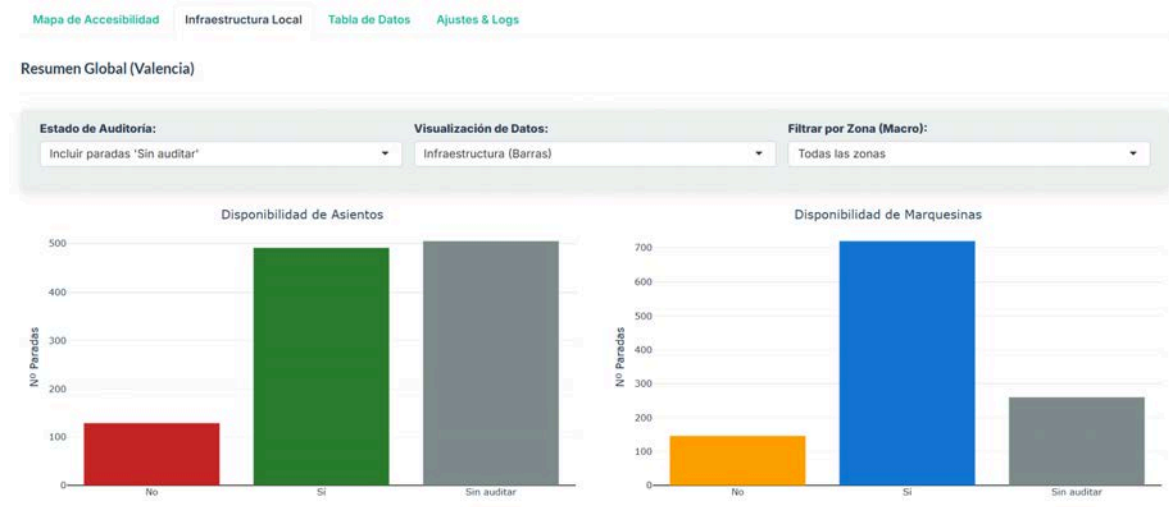


Figura 1-2.4.1. Gráficos de barras interactivos (Plotly) adaptando su escala y volumen de datos según el filtro espacial Ciudad completa (Macro).

2.4.2 Relaciones de proporción (Gráficos de Sectores).

Para representar el "Índice de Calidad Global" y la "Fiabilidad de las Fuentes de Datos", se implementaron gráficos circulares interactivos. Al tratarse de variables que conforman un todo (el 100% de las paradas analizadas en una zona), el gráfico de sectores permite comprender instantáneamente qué porcentaje del entorno está cubierto por datos propios frente a VGI (OpenStreetMap).

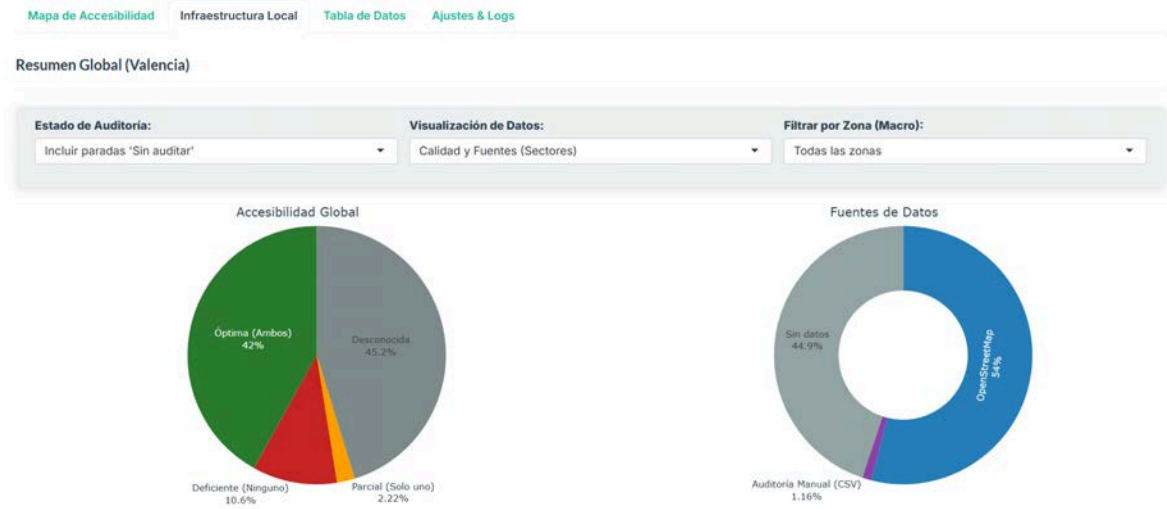


Figura 1-2.4.2. Gráficos de sectores interactivos (Plotly) adaptando su escala y volumen de datos según el filtro espacial Ciudad completa (Macro).

2.4.3. Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs Textuales).

Para magnitudes de alto impacto, como la "Métrica de Esfuerzo" (cálculo de la distancia a pie en línea recta a la parada más cercana) o el impacto demográfico total, se prescindió de ejes cartesianos en favor de tarjetas de visualización (Widgets UI) con tipografía de gran tamaño. Esto reduce la carga cognitiva del usuario y dirige la atención inmediatamente al dato crítico.

Más allá de la métrica principal, el sistema genera automáticamente **gráficos de contexto dinámicos** que acompañan a los KPIs. En el modo 'Micro', se integra un ranking de las 5 líneas con mayor frecuencia de paso en el radio seleccionado, permitiendo identificar qué rutas dominan la conectividad del centro. Por su parte, en el modo 'Línea', el KPI de impacto demográfico se complementa con un ranking de los distritos o barrios que mayor volumen de paradas aportan a esa ruta específica, facilitando la detección de los tramos más críticos del corredor.

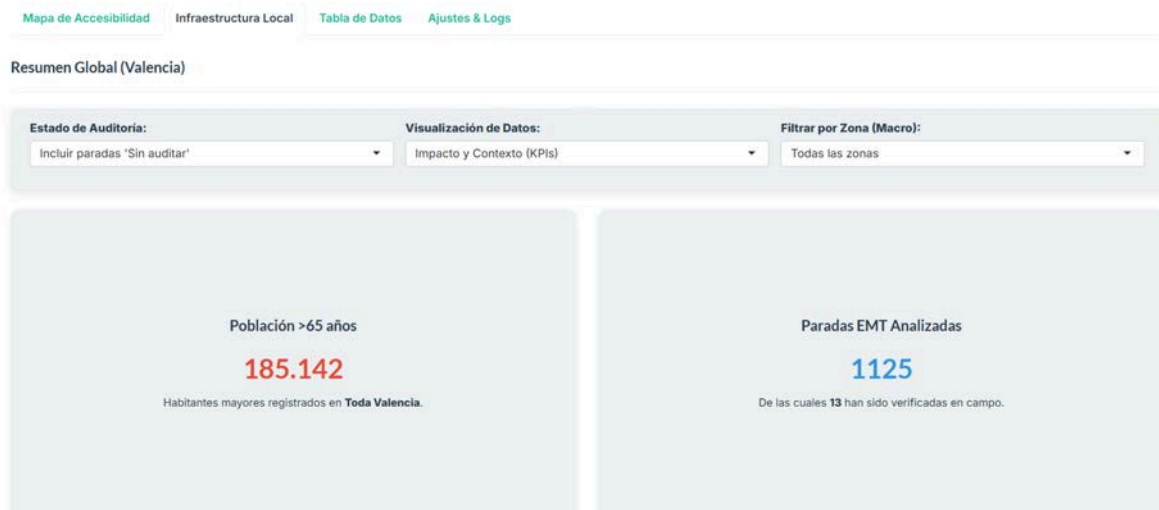


Figura 1-2.4.3. Gráficos de Indicadores Clave de Rendimiento según el filtro espacial Vista General (Macro).

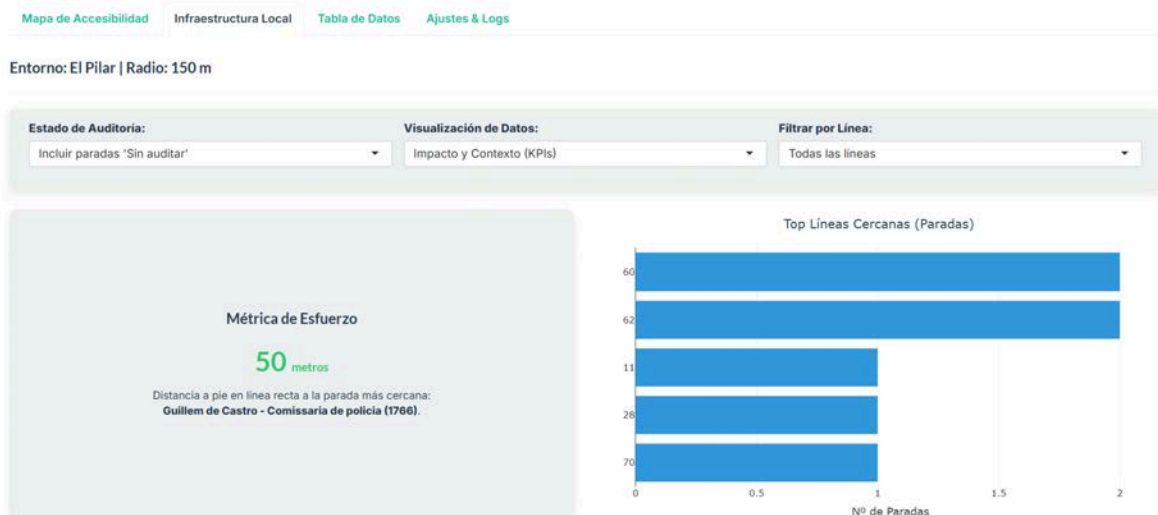


Figura 2-2.4.3. Gráficos de Indicadores Clave de Rendimiento según el filtro espacial Entorno Local (Micro).

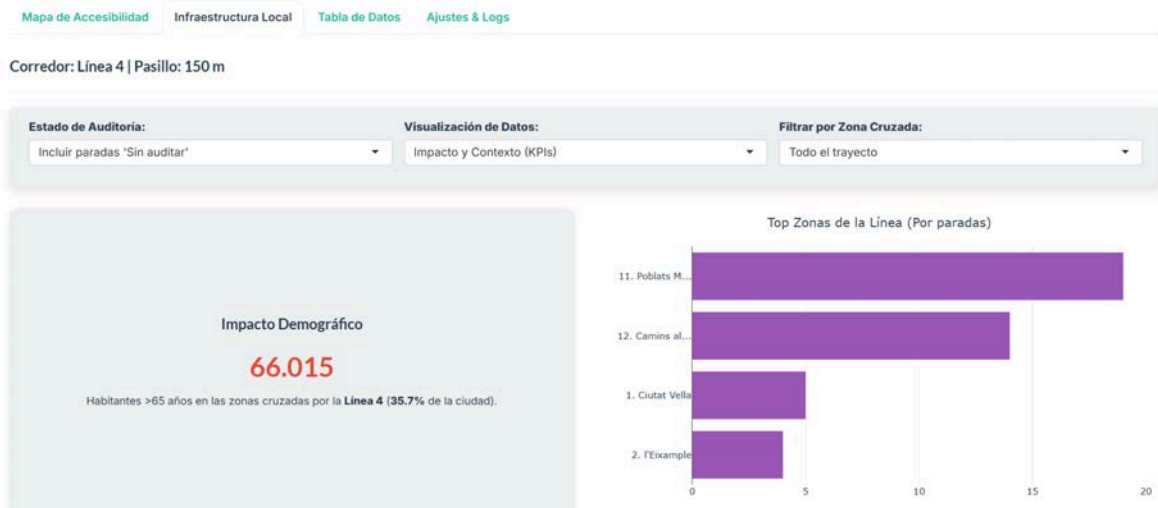


Figura 3-2.4.3. Gráficos de Indicadores Clave de Rendimiento según el filtro espacial Corredor (Línea EMT).

2.5 Diseño del mapa e interactividad.

El mapa web interactivo, núcleo analítico del Cuadro de Mandos, se ha construido íntegramente sobre la librería *leaflet* de R. Para garantizar una experiencia de usuario focalizada y evitar la pérdida de contexto espacial, se han establecido límites de navegación estrictos (*setMaxBounds*) que confinan el lienzo al área metropolitana de Valencia, así como controles de zoom preestablecidos (mínimo 11, máximo 18).

La cartografía base por defecto utiliza tonos claros ("*CartoDB Positron*") para maximizar el contraste de los datos superpuestos, aunque el usuario puede alternar dinámicamente hacia vistas oscuras ("*DarkMatter*") o viales ("*OpenStreetMap*") desde el panel de ajustes. Además, se han implementando las siguientes características:

- **Gestión estricta de la profundidad (Z-Index):** Uso avanzado de *addMapPane* para asegurar que las geometrías no se solapen incorrectamente.
- **Interactividad y Pop-ups en HTML:** Marcadores de iconografía focal e iluminación dinámica de distritos al interactuar con ellos. Cada parada cuenta con un Pop-up enriquecido que desglosa su equipamiento (asiento/marquesina) y, crucialmente, explicita la fuente del dato, aportando total transparencia al usuario.
- **Controles adicionales:** Integración de un minimapa de situación de la Comunidad Valenciana y una barra de escala reactiva.



Figura 1-2.5. Vista general del mapa interactivo implementado con *Leaflet*.

2.6 Diseño del cuadro de mandos.

El Sistema de Soporte a la Decisión se articula a través de un Dashboard moderno y adaptativo construido con el framework shiny. La interfaz de usuario (UI) abandona los estilos genéricos mediante la inyección de código CSS y JavaScript personalizado, incorporando la tipografía de Google 'Inter', contenedores Flexbox responsivos, y un sistema de renderizado dual que permite cambiar entre un "Modo Claro" (*flatly*) y un "Modo Oscuro" (*darkly*) en tiempo real.

A nivel arquitectónico, la navegación de la barra lateral se estructura mediante paneles condicionales (*conditionalPanel*), los cuales ocultan o muestran selectores (inputs de tipo slider y desplegables) dependiendo de los tres Modos de Análisis activos:

1. **Vista General (Macro):** Despliega controles de cobertura radiométrica general (150m/300m) para analizar desiertos de transporte frente a la demografía total.
2. **Entorno Local (Micro):** Habilita la selección de un Centro de Mayores específico y un deslizador de radio dinámico.
3. **Corredor (Línea EMT):** Filtra la interfaz para aislar los pasillos de conectividad de una única línea de autobús.

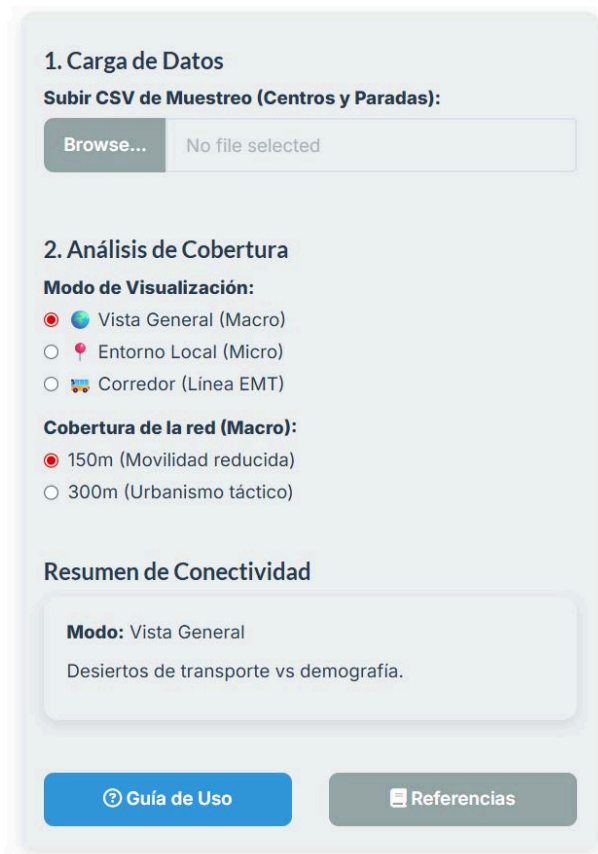


Figura 1-2.6. Fotografía del diseño del cuadro de mandos.

Para optimizar la experiencia de usuario (UX), se ha implementado un sistema de maximización del área de visualización mediante JavaScript personalizado. A través de un botón de expansión en la cabecera (*toggle_sidebar*), el usuario puede colapsar dinámicamente la barra lateral de controles, permitiendo que el mapa y los gráficos ocupen el 100% del ancho de la pantalla. Esta funcionalidad, combinada con un evento de redimensionado forzado (*window.dispatchEvent*), garantiza que el mapa de Leaflet y los gráficos de Plotly se reajusten fluidamente, mejorando la inmersión en el análisis de datos.



Figura 2-2.6. *Botón de expansión en la cabecera, a la izquierda del todo.*

2.7 Implementación.

La implementación del código fuente se rige por el paradigma de programación reactiva de RStudio. El script principal (app.R) encapsula dos grandes bloques de ejecución aislados pero interconectados: la Interfaz de Usuario (ui), encargada del layout, y el Servidor (server), responsable del procesamiento espacial computacionalmente intensivo.

Para cumplir con los requisitos de evaluación relativos a la interactividad avanzada, se ha implementado un módulo de carga interactiva de ficheros mediante la función *fileInput*. Esto permite que el usuario (el auditor en campo) suba su propio archivo CSV con datos recolectados in situ; momento en el cual el servidor detecta el cambio, ejecuta el algoritmo de fusión de dplyr y refresca instantáneamente todas las opciones de la interfaz y elementos del mapa sin necesidad de reiniciar la aplicación.

La arquitectura del proyecto fomenta la escalabilidad dividiendo funcionalidades complejas en módulos descriptivos. Esto incluye el panel de control técnico o Pantalla de Ajustes y Logs, un espacio dedicado que alberga el selector de temas visuales, el nivel de granularidad geográfica, unos botones encargados de volver al mapa o descargar el dataset de ejemplo y una consola de telemetría que registra las acciones del usuario.

Se ha prestado especial atención a la claridad de la interfaz, incluyendo títulos explicativos en todas las secciones técnicas y pantallas de configuración para guiar al usuario en la personalización de la experiencia.

Finalmente, para certificar el alcance público del DSS y permitir su consulta por parte de cualquier estamento administrativo, la aplicación web resultante será empaquetada y desplegada en la infraestructura en la nube para aplicaciones R, quedando alojada en un [servidor Shiny activo](#).

3. Resultados

La implementación del Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) ha permitido visualizar e interpretar grandes volúmenes de datos espaciales, revelando patrones clave sobre la accesibilidad en la ciudad de Valencia. Los resultados se estructuran en base a las tres escalas analíticas del cuadro de mandos:

3.1. Análisis de la cobertura espacial (Escala Macro)

La integración de las capas geográficas y poblacionales revela contrastes significativos en la red de la EMT. El análisis de zonas de influencia (utilizando los buffers base de 150 metros) demuestra que, a nivel puramente topológico, los centros socioculturales y los distritos centrales cuentan con un alto nivel de cobertura teórica. Sin embargo, al cruzar esta geometría con el mapa coroplético del Padrón Municipal, la vista general permite identificar áreas periféricas con alta densidad de población mayor de 65 años (tonos más oscuros en el mapa) que quedan fuera de los radios óptimos, configurando potenciales desiertos de transporte.

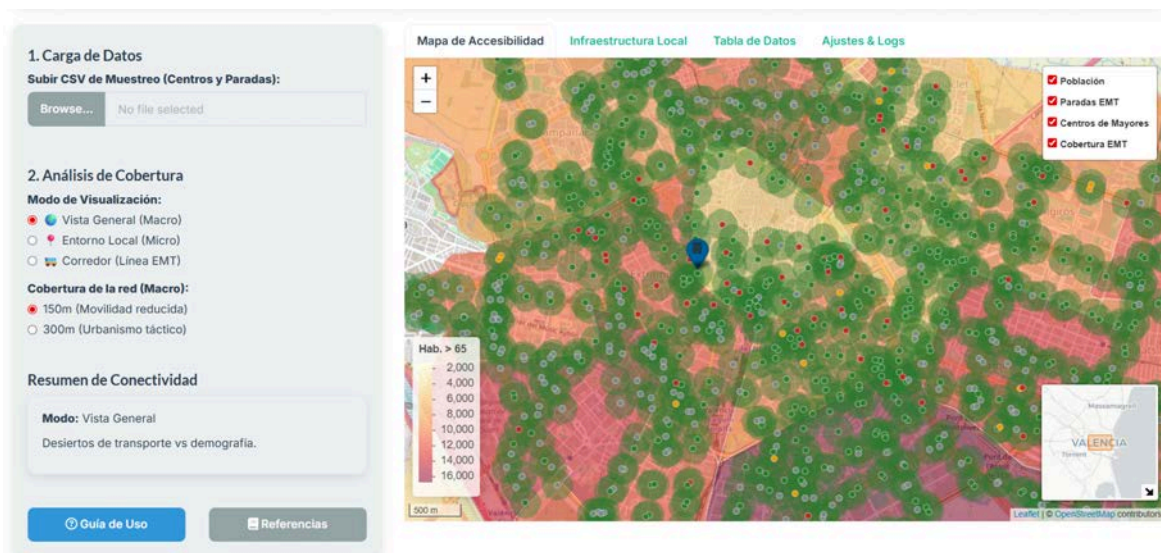


Figura 1-3.1. Cuadro de mandos en Vista General (Macro). Contraste entre la cobertura teórica de la red EMT (polígonos verdes) y la distribución de población de la tercera edad (mapa de calor).

3.2. Análisis de la accesibilidad cualitativa (Escala Micro y Trabajo de Campo)

Los datos cualitativos recopilados manualmente arrojan una realidad dispar frente a la cobertura teórica. Tomando como caso de estudio la auditoría del entorno del recién inaugurado Centro de Mayores El Pilar (radio de 150m), el cuadro de mandos muestra el siguiente patrón:

- Se detectan 11 paradas de la EMT en el radio de acción del centro.
- De la muestra verificada en campo, un 18,18% de las paradas (2 de 11) carecen de elementos de asiento, y el mismo porcentaje carece de marquesina para la protección climática.
- La Métrica de Esfuerzo integrada en la aplicación calcula automáticamente la distancia mínima matemática, revelando la verdadera distancia en línea recta que una persona de movilidad reducida debe caminar para alcanzar el punto de espera más cercano.

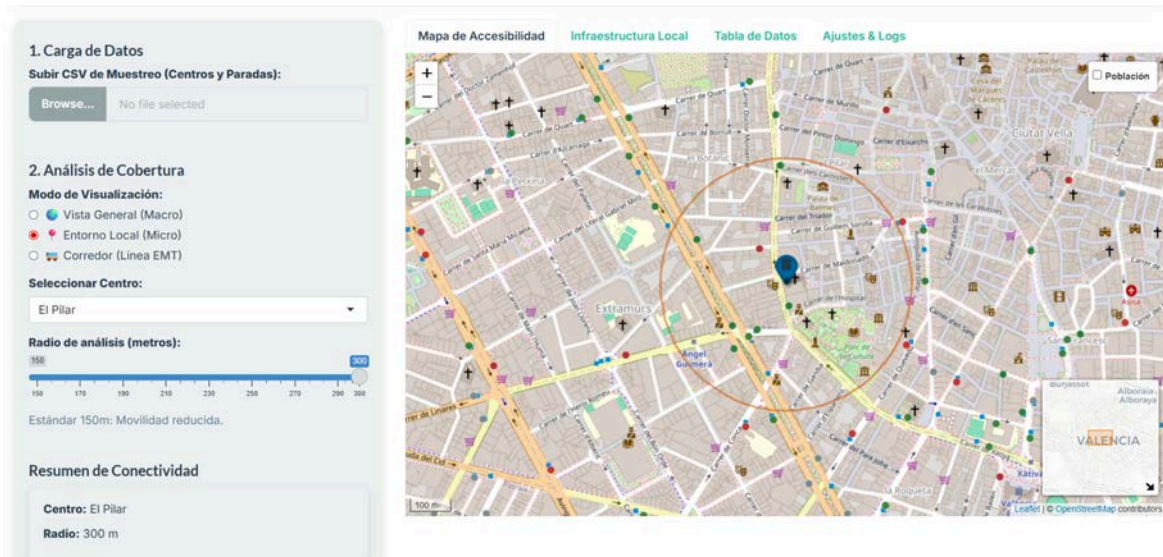


Figura 2-3.1. Cuadro de mandos en Entorno Local (Micro). Se observan las paradas cercanas al centro, en un radio de 300 metros coloreadas dependiendo de su situación de accesibilidad.

3.3. Impacto Demográfico en Corredores (Escala Línea)

Finalmente, los resultados extraídos al aislar líneas individuales de transporte muestran la utilidad de la superposición espacial. Al analizar un trayecto (Corredor), la aplicación no solo dibuja el pasillo de influencia de 150m o 300m, sino que cruza dinámicamente dicha área con las capas censales. Esto resulta en el KPI de "Impacto Demográfico", un porcentaje que indica cuántas personas mayores de 65 años de Valencia están directamente conectadas por esa ruta específica, permitiendo a la administración priorizar presupuestos de adaptación de paradas en las líneas con mayor carga de usuarios vulnerables.

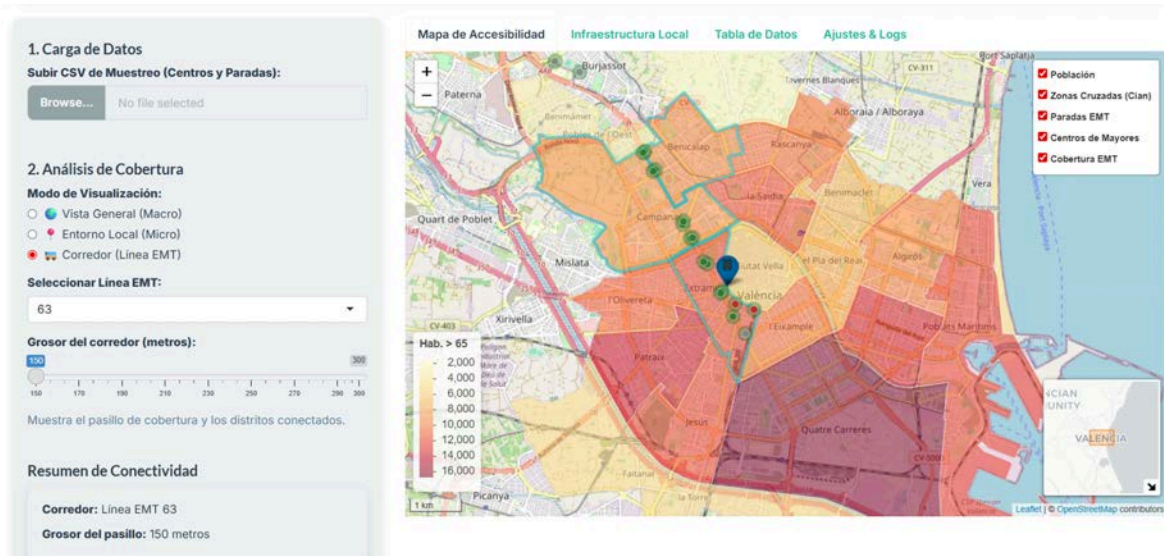


Figura 2-3.1. Cuadro de mandos en Corredor (Línea EMT). Evaluación del Impacto Demográfico y áreas censales interconectadas por la ruta seleccionada.

4. Discusión

4.1. Interpretación de resultados frente a los objetivos y la literatura

La interpretación de los resultados nos permite confirmar de forma empírica la disonancia que planteamos al inicio del trabajo, estar cerca de una parada no significa que realmente sea accesible. Desde un punto de vista puramente espacial, nuestro análisis muestra que Valencia dispone de una red muy extensa de la EMT, lo que en principio sugeriría una buena cobertura teórica y cumpliría con el primer objetivo del estudio.

Sin embargo, cuando profundizamos en los datos cualitativos, observamos que la realidad coincide con lo que propone el modelo de “Ciudades Amigables” de la OMS. Un ejemplo claro de esto lo encontramos alrededor del Centro de Mayores El Pilar. Si solo consultáramos los datos del portal de Datos Abiertos del Ayuntamiento, el barrio parecería estar perfectamente conectado. No obstante, al combinar nuestro trabajo de campo con la información geográfica voluntaria (VGI) de OpenStreetMap, descubrimos que casi un 20 % de las paradas situadas a menos de 150 metros carecen de mobiliario básico, como bancos o marquesinas.

Por otro lado, en cuanto a los objetivos tecnológicos, el proyecto ha sido un éxito. Conseguimos integrar toda esa información estática y dispersa en un Cuadro de Mandos interactivo y en tiempo real. De esta forma, respaldamos conceptos como Gobierno Abierto y Ciencia de Datos Ciudadana. En definitiva, nuestro trabajo demuestra que cuando se combinan las fuentes institucionales con la auditoría ciudadana y los datos colaborativos, se logra superar la opacidad de las administraciones y se obtienen herramientas mucho más útiles y precisas para comprender la ciudad a escala humana.

4.2. Implicaciones de los hallazgos

El principal hallazgo de este proyecto tiene una implicación muy clara para la administración pública: las políticas urbanas y sociales deben planificarse de forma integral. No sirve de mucho que el Ayuntamiento de Valencia invierta en campañas de envejecimiento activo o que inaugure centros socioculturales de gran calidad, como el Centro El Pilar, si el sistema de movilidad que los rodea se convierte en una barrera para las personas mayores.

La implicación directa de nuestros resultados territoriales es que el actual paradigma de medir la accesibilidad basándose únicamente en distancias geográficas está obsoleto. Los datos demuestran que las zonas periféricas y los entornos de los centros sufren una desigualdad de infraestructura. Por tanto, la administración debe realizar un cambio de enfoque: pasar de garantizar que "haya una parada cerca" a garantizar que "la parada cercana sea utilizable".

4.3. Limitaciones del estudio y trabajos futuros

La principal limitación metodológica de este estudio se encuentra en el cálculo de las áreas de influencia. Por restricciones técnicas, utilizamos la distancia euclidiana (radios circulares), que asume un desplazamiento en línea recta. Sin embargo, en la realidad urbana, especialmente para una persona mayor, recorrer 150 metros teóricos puede suponer un esfuerzo mucho mayor si hay que rodear manzanas, cruzar avenidas anchas o superar barreras arquitectónicas.

A esto se añade otra limitación de tipo estadístico: los datos del padrón municipal están agregados por distritos y barrios, lo que nos obligó a asumir una distribución demográfica uniforme dentro de cada zona, impidiendo conocer la ubicación exacta de la población vulnerable.

Para superar estas limitaciones, las áreas para futuros trabajos se centrarían en tres ejes de mejora técnica:

1. **Análisis de Redes (Network Analysis):** Sustituir los radios euclidianos por isocronas basadas en la red peatonal real. Esto permitiría calcular tiempos de desplazamiento más precisos, considerando semáforos, pendientes y pasos de peatones, obteniendo una "Métrica de Esfuerzo" mucho más realista.
2. **Ingesta de Datos Dinámicos:** El sistema ganaría profundidad si incorporara variables en tiempo real mediante conexiones API, como datos meteorológicos (para priorizar marquesinas en zonas de lluvia) o datos de la EMT sobre tiempos de espera y saturación de las líneas.
3. **App Móvil de Crowdsourcing:** Dado que auditar manualmente toda la ciudad resulta inviable, proponemos escalar la recolección de datos desarrollando una aplicación móvil colaborativa. Esta app permitiría a los ciudadanos reportar el estado de las paradas, manteniendo el Cuadro de Mandos actualizado de manera continua.

4.4. Dificultades encontradas

Durante el ciclo de vida del proyecto y el proceso ETL, el equipo se enfrentó a dos retos técnicos de gran envergadura:

1. **Inconsistencia en formatos de origen:** El mayor desafío en la fase de preprocesado fue la limpieza de los datos demográficos del padrón municipal. El formato original categorizaba los distritos combinando números y texto en un solo campo (ej. "1. Ciutat Vella"), lo que impedía realizar la unión topológica en QGIS y R. Esto obligó a desarrollar scripts de extracción paramétrica mediante expresiones regulares (*gsub*) para generar identificadores numéricos puros (*ID_Distrito*).
2. **Opacidad Institucional:** La dificultad más crítica fue la total ausencia de atributos arquitectónicos y de accesibilidad en el portal Open Data Valencia. Esta carencia en el origen del dato forzó al equipo a programar desde cero el complejo algoritmo de "Jerarquía de Fiabilidad" (fusionando un muestreo manual en CSV con la API de Overpass Turbo de OSM) para lograr visualizar una realidad que los datos oficiales actuales ocultan.

5. Conclusiones

5.1. Conclusiones finales.

Después de diseñar, desarrollar y evaluar el Cuadro de Mandos GIS interactivo para la ciudad de Valencia, se obtienen las siguientes conclusiones clave:

5.1.1. Evaluación Espacial (Cobertura vs. Accesibilidad):

Se concluye que aunque la red de la EMT tiene una amplia cobertura geográfica que llega a la mayoría de los barrios, la accesibilidad inclusiva presenta fallos importantes en ciertos puntos críticos. El análisis realizado con buffers e intersecciones topológicas identificó paradas en áreas con alta concentración de población mayor de 65 años que carecen de elementos básicos como asientos o marquesinas. Por lo tanto, esta investigación demuestra que estar cerca de una parada no garantiza una experiencia de movilidad accesible y segura para las personas mayores.

5.1.2. Desarrollo Tecnológico (Implementación del DSS):

El proyecto ha logrado crear una aplicación web interactiva basada en Shiny, Leaflet y Plotly, que integra análisis geoespacial y visualización de datos en tiempo real. La arquitectura reactiva desarrollada en R ha mostrado su capacidad para procesar operaciones espaciales dinámicas, generar indicadores clave de rendimiento y ajustar automáticamente la interfaz a diferentes escalas analíticas (Macro, Micro y Corredor). Esto confirma que es viable usar herramientas de código abierto como apoyo eficaz para la toma de decisiones urbanas.

5.1.3. Integración de Datos (Fusión de fuentes heterogéneas):

La metodología de integración basada en la “Jerarquía de Fiabilidad” ha permitido resolver limitaciones en los conjuntos de datos oficiales. La combinación de datos abiertos de instituciones, información geográfica voluntaria de OpenStreetMap y auditorías manuales de campo ha producido un conjunto de datos más representativo de la realidad urbana. Este enfoque demuestra el valor de los modelos híbridos de recopilación de información en proyectos de Gobierno Abierto y en el análisis territorial.

En conjunto, el miniproyecto valida el uso de la analítica visual interactiva como herramienta para identificar desigualdades espaciales, mejorar la transparencia institucional y apoyar políticas públicas para un envejecimiento activo e inclusivo.

5.2. Implicaciones prácticas, científicas y propuestas de futuro.

Desde un enfoque práctico, el sistema desarrollado actúa como un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) directamente transferible a la administración pública. Esta herramienta ofrece inteligencia visual inmediata para priorizar las acciones urbanas relacionadas con la accesibilidad, permitiendo optimizar los recursos municipales al dirigir las inversiones hacia aquellas líneas y paradas con mayor impacto demográfico y mayores déficits estructurales .

A nivel científico, este trabajo demuestra la viabilidad de complementar los modelos tradicionales de análisis espacial con enfoques de visualización interactiva y datos colaborativos. La integración metodológica de OpenStreetMap valida que la Información Geográfica Voluntaria (VGI) es un recurso clave y solvente para rellenar los vacíos presentes en los catálogos oficiales de datos abiertos. Asimismo, el uso de frameworks de código abierto como R, sf, Leaflet y Plotly confirma el potencial de estas tecnologías para crear soluciones robustas, escalables y reproducibles en el campo de la Ciencia de Datos aplicada al urbanismo.

Como implicación institucional final derivada de este estudio, resulta imperativo recomendar una actualización en las políticas de transparencia del Ayuntamiento. Es fundamental que los portales de Datos Abiertos incluyan obligatoriamente atributos físicos sobre la accesibilidad de las paradas (asientos, marquesinas, pavimento táctil o nivel de accesibilidad PMR). Solo al democratizar información urbana completa y actualizada se podrán evaluar rigurosamente las infraestructuras de movilidad y diseñar políticas públicas verdaderamente inclusivas.

6. Referencias

- Ayuntamiento de Valencia. (2025). Padrón Municipal de Habitantes a 01/01/2025. Oficina de Estadística.
- Ayuntamiento de Valencia. (2026). Campañas Municipales. Recuperado de <https://www.valencia.es/cas/campañas-municipales>.
- Open Data Valencia. (2026). Información geográfica relacionada con las paradas de bus de la EMT. Recuperado de <https://opendata.vlci.valencia.es/es/dataset/>.
- Open Data Valencia. (2026). Límite de distritos de la ciudad de Valencia. Recuperado de <https://opendata.vlci.valencia.es/es/dataset/>.
- OpenStreetMap contributors. (2026). Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org> (Datos de mobiliario urbano extraídos mediante la API de Overpass Turbo).
- R Core Team. (2026). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.