CONAMA 2026

De los domicilios del alumnado a un plan de movilidad escolar sostenible con IA abierta

Comunicación técnica de difusión de proyectos

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: Antonio Jesús Maldonado Díaz. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos; doctorando. Universidad de Cádiz.

Índice

1. Resumen....1
2. Palabras clave....1
3. Introducción y objetivos....1
3.1. Contexto y problema....1
3.2. Objetivos....2
4. Caso de estudio y datos....2
5. Metodología....3
5.1. Normalización de direcciones....3
5.2. Geocodificación en cascada....3
5.3. Asignación de sección censal....4
5.4. Modelo de elección modal y escenarios....4
5.5. Vehículos en hora punta y emisiones....4
5.6. Coche compartido....4
5.7. Protección de datos....5
6. Resultados....5
6.1. Calidad de los datos geocodificados....5
6.2. Diagnóstico: distancia al centro y generación de viajes....6
6.3. Reparto modal y escenarios....6
6.4. Sensibilidad....8
6.5. Potencial de coche compartido....8
6.6. Medidas y coste....8
7. Discusión y limitaciones....9
8. Conclusiones....10
8.1. Seguimiento y próximos pasos....10
9. Bibliografía....10

1. Resumen

Los colegios concentran cada día picos de tráfico en franjas de media hora, pero la mayoría carece de datos para planificar su movilidad. Esta comunicación difunde los resultados de un trabajo fin de máster que parte del único dato que tiene cualquier centro, las direcciones postales del alumnado (664 registros de un colegio concertado de Infantil y Primaria de Jerez de la Frontera), y construye con él un diagnóstico y un plan de movilidad escolar sostenible con herramientas abiertas y gratuitas.

La cadena de trabajo normaliza las direcciones con procesamiento del lenguaje natural (98,0 % de registros completos), las geocodifica en cascada con fuentes abiertas (de 20 a 276 pares únicos de coordenadas, a nivel de portal), las asigna a 102 secciones censales y estima el reparto modal con un modelo logit multinomial en tres escenarios. El 43,7 % del alumnado vive a menos de 1 km, pero se estima que el 59 % llega en vehículo privado. Con un paquete de medidas de bajo coste, el modelo estima que el uso del vehículo privado bajaría al 32 %, con 106 vehículos menos en hora punta (−45,5 %) y 14,3 t de CO_2 menos al año (−45,4 %) respecto a la situación actual. Un algoritmo de ahorros identifica, además, 371 alumnos candidatos a compartir coche, con desvíos medios de 41 m.

Los resultados son estimaciones de simulación para un único centro, con coeficientes transferidos de la literatura y sin encuesta propia; la metodología, en cambio, es replicable en otros centros con solo su listado de domicilios.

2. Palabras clave

movilidad escolar; inteligencia artificial; geocodificación; carpooling; emisiones de CO_2; datos abiertos

3. Introducción y objetivos

Un listado de domicilios basta para diagnosticar la movilidad escolar y priorizar medidas: el 43,7 % del alumnado vive a menos de 1 km del colegio, pero se estima que el 59 % llega en vehículo privado.

3.1. Contexto y problema

Los desplazamientos al colegio son de los más regulares y predecibles de la movilidad urbana: se repiten a diario, en franjas muy concentradas y con trayectos cortos. En el caso de estudio, la entrada y la salida concentran la demanda en dos franjas de 30 minutos (8:30–9:00 h y 14:00–14:30 h), con vehículos en doble fila y conflictos con peatones en un entorno de calles estrechas. En Jerez de la Frontera, según la encuesta de movilidad de 2014, el 9 % de los viajes tiene como destino

estudios y el 56,2 % del total de los viajes se realiza en modo privado (Ayuntamiento de Jerez de la Frontera, 2021).

El marco normativo empuja en la misma dirección: la Ley 9/2025, de 3 de diciembre, de Movilidad Sostenible, otorga a la movilidad activa, la intermodalidad y el transporte público un papel esencial en el modelo de movilidad (Ley 9/2025, de 3 de diciembre), y las medidas que se proponen aquí siguen ese criterio.

Sin embargo, la mayoría de los centros no dispone de datos sistemáticos sobre cómo llega su alumnado, y encargar encuestas o estudios de movilidad queda fuera de su alcance. Lo que sí existe en toda secretaría escolar es el listado de domicilios, con direcciones heterogéneas (abreviaturas, grafías no normalizadas, códigos postales ausentes) que impiden usarlo directamente. Esta comunicación muestra cómo convertir ese listado en un diagnóstico y un plan de medidas con herramientas abiertas, sin software ni servicios de pago.

3.2. Objetivos

El objetivo general es evaluar y optimizar la movilidad escolar de un centro de Educación Infantil y Primaria aplicando inteligencia artificial y datos abiertos, y proponer medidas para reducir la dependencia del vehículo privado y mejorar la seguridad vial. Los objetivos específicos son:

- Normalizar y geolocalizar 664 domicilios con una metodología automatizada y reproducible.
- Diagnosticar la generación de viajes, la distancia al centro y el reparto modal.
- Estimar el efecto de un paquete de medidas sobre el reparto modal, los vehículos en hora punta y las emisiones de CO_2.
- Cuantificar el potencial de coche compartido mediante un algoritmo de optimización de rutas.
- Definir un plan de implementación con costes e indicadores de seguimiento.

4. Caso de estudio y datos

El centro es un colegio concertado de Educación Infantil y Primaria (de 3 a 12 años) situado en el casco histórico de Jerez de la Frontera (Cádiz), municipio de unos 216.000 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2026). El entorno combina calles de sección reducida (entre 4 y 7 m en las arterias principales), aceras de anchura irregular, escasa dotación ciclista y transporte público de frecuencia variable; la topografía es llana, lo que favorece la movilidad activa. El colegio no dispone de aparcamiento reservado ni de una zona de parada diferenciada de la calzada, por lo que la recogida del alumnado se hace en doble fila.

Los datos proceden de la secretaría del centro: 664 registros de domicilio del alumnado de nueve cursos, de los que 659 acabaron con coordenadas válidas. No se dispone de una encuesta de movilidad propia, por lo que el reparto modal actual no es un dato medido sino una estimación a partir de referencias externas (apartado 6.3).

5. Metodología

La metodología se articula en cinco etapas secuenciales, implementadas como scripts de Python 3.8 que emplean solo librerías de código abierto y servicios públicos (Figura 1). Los scripts fueron generados con el apoyo de un modelo de lenguaje (Claude Sonnet 4.6, Anthropic) y revisados por el autor. Cada etapa produce un fichero Excel que alimenta la siguiente, lo que facilita la auditoría y la reproducibilidad.

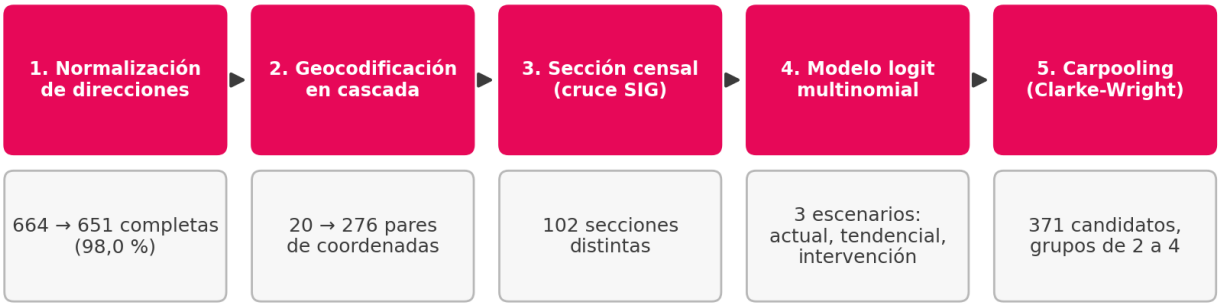


Figura 1. *Cadena de procesamiento desde los domicilios del alumnado hasta el plan de movilidad.*
Fuente: Elaboración propia a partir de Maldonado Díaz (2026).

5.1. Normalización de direcciones

Los registros llegaron como texto libre, con abreviaturas (C/, Avda., Pza.), datos de bloque, escalera y puerta mezclados con la vía y códigos postales a veces ausentes. El script estandariza el formato (mayúsculas, expansión de abreviaturas) y extrae, mediante reglas gramaticales del español y expresiones regulares, los campos tipo de vía, nombre, número, código postal, municipio y provincia, apoyándose en una gramática de los 20 tipos de vía más frecuentes del callejero español. Cuando falta el código postal se asigna el del municipio con una marca de baja fiabilidad que se propaga a las etapas siguientes.

5.2. Geocodificación en cascada

Una primera pasada con Nominatim (OpenStreetMap Foundation, s. f.) sobre OpenStreetMap (OpenStreetMap contributors, s. f.) produjo solo 20 pares únicos de coordenadas para 651 registros: el 97,7 % eran centroides de barrio o de código postal, insuficientes para cualquier análisis a escala de domicilio. El refinamiento aplicó tres fuentes abiertas de forma secuencial: (1) CartoCiudad, el callejero oficial del Instituto Geográfico Nacional con numeración de portales (Instituto Geográfico Nacional, s. f.); (2) Nominatim con consultas estructuradas por campo (calle, ciudad y código postal), más precisas que la consulta libre inicial; y (3) Photon (Komoot, s. f.), con un índice de OpenStreetMap y sesgo geográfico hacia Jerez.

5.3. Asignación de sección censal

Las coordenadas refinadas se cruzaron espacialmente (predicado «punto dentro de polígono», con GeoPandas) con la cartografía de secciones censales del INE (Instituto Nacional de Estadística, 2021), previa transformación de WGS84 (EPSG:4326) a ETRS89 UTM 30N (EPSG:25830). Cada domicilio recibe así el código oficial de sección censal, que permite agregar los resultados sin exponer domicilios individuales y enlazarlos con estadísticas sociodemográficas.

5.4. Modelo de elección modal y escenarios

Al no disponer de datos de elección modal del colegio, se adoptó un modelo logit multinomial (McFadden, 1974) con cuatro modos: a pie, bicicleta, transporte público y vehículo privado. La utilidad del modo j para el alumno i es $U(i,j) = \beta_0(j) + \beta_1(j)\cdot tiempo(i,j) + \beta_2(j)\cdot distancia(i)$, y la probabilidad de elegirlo es $P(i,j) = exp[U(i,j)] / \Sigma_k\, exp[U(i,k)]$. La distancia al centro se calculó con la fórmula de haversine sobre las coordenadas refinadas, y los tiempos con velocidades de 4 km/h a pie, 12 km/h en bicicleta, 15 km/h más 8 minutos de espera en transporte público y 20 km/h en vehículo privado en hora punta.

Los coeficientes se transfirieron de los datos de reparto modal de los municipios de la Bahía de Cádiz (Observatorio de la Movilidad Metropolitana [OMM], 2025) y se ajustaron hasta reproducir el reparto modal de referencia (28 % a pie, 4 % en bicicleta, 9 % en transporte público y 59 % en vehículo privado) con un error inferior al 0,5 % en cada modo. Se definieron tres escenarios:

- **A. Actual:** situación de referencia.
- **B. Tendencial:** proyección a cinco años sin intervención, con un aumento del 5 % en el uso del vehículo privado.
- **C. Intervención:** aplicación del paquete de medidas de movilidad activa, que reduce un 25 % el tiempo percibido a pie (Camino Escolar Seguro) y un 20 % en bicicleta (aparcabicis y programa Bicicleta al Cole).

5.5. Vehículos en hora punta y emisiones

De los alumnos que llegan en vehículo privado se asume que el 60 % accede directamente en coche al centro y que el 40 % restante es recogido de paso. Las emisiones de CO_2 se calculan como vehículos en hora punta × 2 trayectos diarios × distancia media real (1,697 km) × 190 días lectivos × 0,21 kg de CO_2 por km, factor de emisión del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2023).

5.6. Coche compartido

Sobre los 371 alumnos candidatos (en vehículo privado y a más de 1 km del centro) se aplicó el algoritmo de ahorros de Clarke y Wright (1964), con un máximo de cuatro alumnos por coche y un

umbral de desvío del conductor de 0,60 km en el caso base. Un agrupamiento previo con DBSCAN resultó inviable: con un radio de 0,80 km, el 95 % de los candidatos quedaba absorbido en un único clúster, porque el casco histórico tiene apenas 1,5 km de diámetro. La ruta de cada grupo se resolvió por fuerza bruta, con un máximo de 4! = 24 permutaciones.

5.7. Protección de datos

Los domicilios del alumnado, menor de edad, son datos personales sujetos al Reglamento (UE) 2016/679 y a la Ley Orgánica 3/2018. Antes del tratamiento se suprimieron los campos que identifican al alumno (nombre, apellidos y número de expediente), de modo que las consultas a los servicios públicos de geocodificación se hicieron con direcciones sin vínculo con su identidad. Las coordenadas se tratan siempre de forma agregada y los resultados se presentan por sección censal o zona de distancia; por ello esta comunicación no incluye mapas de domicilios.

6. Resultados

6.1. Calidad de los datos geocodificados

La cascada multiplicó por casi 14 el número de coordenadas únicas (de 20 a 276), pasando de centroides de código postal a localización a nivel de portal, y mejoró 618 de los 664 registros (93,1 %). La normalización dejó completos 651 registros (98,0 %), de modo que la revisión manual se limitó a 13 (Tabla 1).

Tabla 1. *Resultados de la normalización y la geocodificación.*
Fuente: Elaboración propia a partir de Maldonado Díaz (2026).

Etapa	Resultado
Registros de partida	664 domicilios
Normalización completa	651 registros (98,0 %)
Geocodificación inicial (Nominatim)	20 pares únicos de coordenadas; 97,7 % centroides de barrio o código postal
Tras la cascada de tres fuentes	276 pares únicos (nivel de portal); 618 registros mejorados (93,1 %)
Registros con coordenadas refinadas válidas	659
Secciones censales de origen	102 (asignación del 100 % de los registros válidos)

6.2. Diagnóstico: distancia al centro y generación de viajes

La distancia media al centro es de 1,697 km (mediana de 1,190 km; mínima de 0,110 km). El 43,7 % del alumnado vive a menos de 1 km, una distancia que se recorre a pie en unos 12 minutos, y un 9,1 % vive a más de 3 km (Figura 2). La demanda también está concentrada en el territorio: las 10 secciones censales con más alumnado reúnen el 60,2 % del total, con una media de 6,5 alumnos por sección.

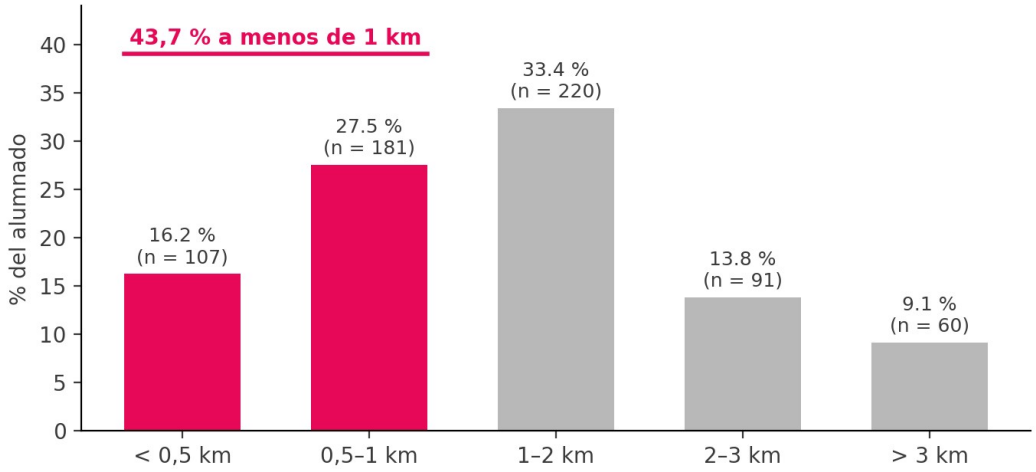


Figura 2. *Distribución del alumnado por zona de distancia al centro (n = 659).*
Fuente: Elaboración propia a partir de Maldonado Díaz (2026).

6.3. Reparto modal y escenarios

El reparto modal actual no se midió: se estimó a partir del Observatorio de la Movilidad Metropolitana (OMM, 2025), del Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Jerez (Ayuntamiento de Jerez de la Frontera, 2021), de estudios de referencia en ciudades andaluzas (Confederación Andaluza de Asociaciones de Padres y Madres de Alumnos de Andalucía [CODAPA], 2021) y del análisis de accesibilidad. Como contraste, el estudio de movilidad con big data del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2024) confirma un pico de viajes intramunicipales cortos en la franja escolar coherente con la matrícula del centro, aunque no permite desagregar el modo en viajes cortos. Con esa estimación, el 59 % del alumnado (389 alumnos) llegaría en vehículo privado pese a que casi la mitad vive a menos de 1 km. Esto apunta a que la barrera principal no es la distancia, sino la percepción de inseguridad vial y la falta de infraestructura (aceras estrechas, ausencia de carril bici y de aparcabicis, y de una zona de parada).

El modelo estima que, con el paquete de medidas, el uso del vehículo privado bajaría del 59 % al 32 % (−27 puntos porcentuales; 178 alumnos menos en coche), el desplazamiento a pie subiría del 28 % al 44 % (106 alumnos más) y la bicicleta del 4 % al 11 % (unos 46 alumnos más) (Figura 3). Sin intervención, la tendencia empeoraría: el vehículo privado llegaría al 64 %, con 253 vehículos en hora punta y 34,2 t de CO_2 al año (+8,6 %).

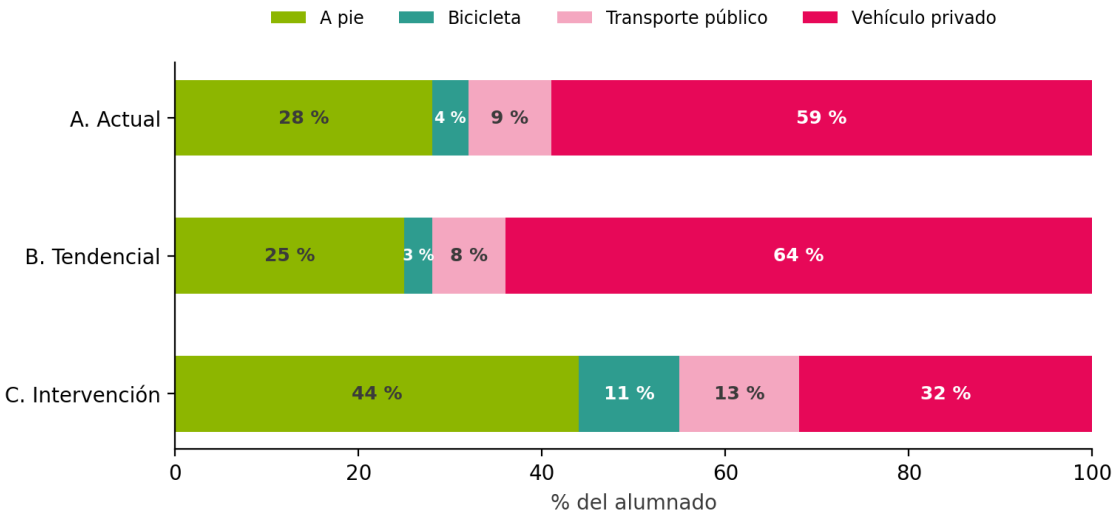


Figura 3. *Reparto modal del alumnado por escenario.*
Fuente: Elaboración propia a partir de Maldonado Díaz (2026) y OMM (2025).

Los vehículos en hora punta pasarían de 233 a 127 (−106 veh/h; −45,5 %) y las emisiones de CO_2 de 31,5 a 17,2 t/año (−14,3 t; −45,4 %), ambos frente a la situación actual (Tabla 2 y Figura 4).

Tabla 2. *Resultados del modelo de movilidad por escenario.*
Fuente: Elaboración propia a partir de Maldonado Díaz (2026) y OMM (2025). Nota: la variación se calcula respecto al escenario A.

Indicador	A. Actual	B. Tendencial (+5 % VP)	C. Intervención
A pie	28 %	25 %	44 %
Bicicleta	4 %	3 %	11 %
Transporte público	9 %	8 %	13 %
Vehículo privado (VP)	59 %	64 %	32 %
Alumnado en VP	389	422	211
Vehículos en hora punta (veh/h)	233	253	127
Variación de vehículos en hora punta	—	+20 (+8,6 %)	−106 (−45,5 %)
Emisiones de CO_2 (t/año)	31,5	34,2	17,2
Variación de emisiones	—	+2,7 (+8,6 %)	−14,3 (−45,4 %)

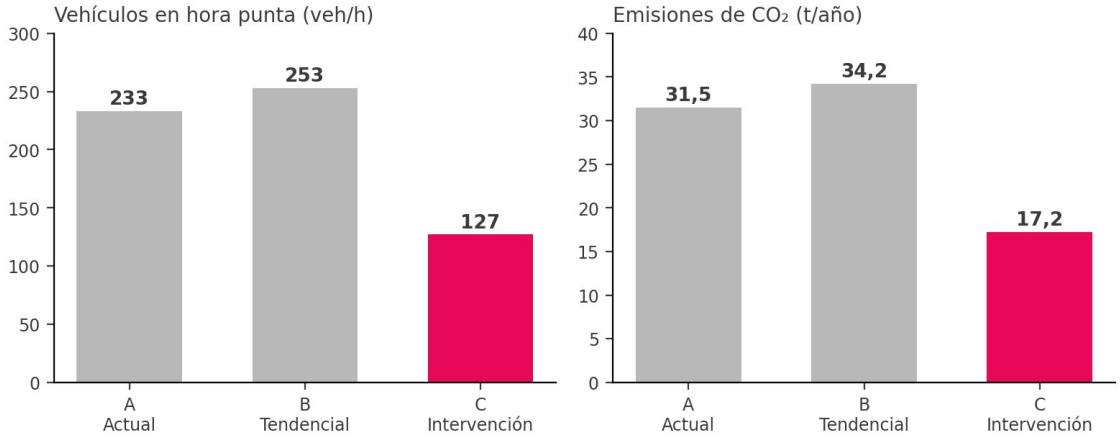


Figura 4. *Vehículos en hora punta y emisiones de CO_2 por escenario.*
Fuente: Elaboración propia a partir de Maldonado Díaz (2026).

6.4. Sensibilidad

Con una elasticidad baja (0,3) la reducción del uso del vehículo privado sería de 16 puntos porcentuales y con una alta (0,7), de 33 puntos; en todos los casos el signo del efecto es el mismo. La variable más sensible es la distancia media real: con coordenadas refinadas (1,697 km) las emisiones calculadas son un 13 % superiores a las de la hipótesis inicial de 1,5 km, lo que muestra el valor práctico de geocodificar a nivel de portal.

6.5. Potencial de coche compartido

De los 371 candidatos, el algoritmo de ahorros identifica grupos de 2 a 4 alumnos por coche con un desvío medio del conductor de 41 m (máximo de 432 m) en el caso base. Al variar el radio de búsqueda entre 0,40 y 0,80 km, el desvío medio no supera los 75 m, lo que indica que los grupos son viables en la práctica incluso en un casco histórico compacto. Se trata de un potencial técnico: su beneficio real depende de que las familias acepten compartir, por lo que se propone una plataforma gestionada por la asociación de madres y padres (AMPA), medida M.V.2.

6.6. Medidas y coste

El plan agrupa las medidas en cinco ejes siguiendo la jerarquía de la movilidad sostenible: movilidad activa (Camino Escolar Seguro, aparcabicis, Bicicleta al Cole), gestión del tráfico (zona de parada breve y restricción del tráfico en hora punta), transporte colectivo, vehículo privado (plataforma de coche compartido) y sensibilización. La Tabla 3 resume las medidas con plazo, responsable y coste aproximado; las actuaciones de corto plazo con coste (M.A.1, M.A.2, M.T.1, M.S.1 y M.S.2) suman entre 17.700 y 27.500 € sin IVA, y la restricción de tráfico en hora punta no requiere inversión.

Tabla 3. *Plan de implementación: medidas, plazo, responsable y coste aproximado.*
Fuente: Elaboración propia a partir de costes de referencia de Ayuntamiento de Madrid (2008), CODAPA (2021), Ministerio de Sanidad (2022) y Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2022).

Cód.	Medida	Plazo	Responsable	Coste (sin IVA)
M.A.1	Camino Escolar Seguro	Corto	Ayuntamiento / centro	12.000–18.000 €
M.A.2	Aparcabicis cubierto (24–40 plazas)	Corto	Ayuntamiento	3.000–4.500 €
M.T.1	Zona de parada breve (beso y despedida)	Corto	Ayuntamiento	1.500–3.000 €
M.T.2	Restricción de tráfico en hora punta	Corto	Policía Local	Sin coste
M.S.1	Campaña de comunicación	Corto	Centro / AMPA	400–800 €
M.S.2	Semana de la Movilidad Escolar	Corto	Centro / Ayuntamiento	800–1.200 €
M.A.3	Bicicleta al Cole (bicicleta-bus)	Medio	Centro / AMPA	1.500–2.500 €/año
M.C.1	Más frecuencia del autobús urbano	Medio	EMT Jerez	11.000–12.000 €/año
M.V.2	Plataforma de coche compartido	Medio	AMPA / centro	1.000–2.000 €
M.C.2	Rutas de transporte escolar agrupado	Largo	Ayuntamiento / Junta	A determinar

7. Discusión y limitaciones

Los resultados deben leerse como un orden de magnitud para priorizar medidas, no como una predicción. Las principales limitaciones son:

- **El reparto modal actual es una estimación, no una medición.** Se obtuvo de referencias externas y de la accesibilidad, no de una encuesta al alumnado y sus familias.
- **Los coeficientes del modelo se transfirieron, no se estimaron.** Lo recomendable es estimarlos directamente con una encuesta de preferencias declaradas a una muestra representativa de familias; es la principal línea de trabajo futuro.
- **El logit multinomial asume independencia de alternativas irrelevantes.** Es aceptable con cuatro modos claramente distintos, pero si el coche compartido se incorporara como modo propio haría falta un logit anidado.
- **El efecto de las medidas se modela como reducción del tiempo percibido.** No se modelizan directamente la seguridad vial ni la percepción de riesgo, que son la barrera principal según el diagnóstico.
- **Es un único centro.** Las cifras absolutas no son extrapolables; sí lo es la metodología.

Como referencia, los programas de Camino Escolar Seguro en ciudades andaluzas como Sevilla han reportado reducciones del vehículo privado de entre 15 y 25 puntos porcentuales en dos a tres años (CODAPA, 2021). El efecto estimado aquí (−27 puntos) queda por encima de ese rango, por lo que conviene tomarlo como un escenario optimista; el resultado con elasticidad baja (−16 puntos) sí cae dentro de él.

8. Conclusiones

- **Los datos administrativos bastan.** Con 664 direcciones postales y herramientas abiertas se logró localización a nivel de portal (276 pares únicos frente a 20) y una asignación del 100 % a secciones censales.
- **La distancia no es la barrera principal.** El 43,7 % del alumnado vive a menos de 1 km y aun así se estima que el 59 % llega en vehículo privado: pesan más la percepción de inseguridad vial y la falta de infraestructura.
- **Medidas de bajo coste, efecto relevante.** Las medidas de movilidad activa (Camino Escolar Seguro, aparcabicis y Bicicleta al Cole), con un coste del primer año de entre 16.500 y 25.000 € sin IVA, llevarían según el modelo el uso del vehículo privado del 59 % al 32 %, con 106 vehículos menos en hora punta (−45,5 %) y 14,3 t de CO_2 menos al año (−45,4 %) respecto a la situación actual.
- **Hay potencial de coche compartido.** Los 371 candidatos pueden agruparse en coches de 2 a 4 alumnos con desvíos medios de 41 m; falta medir la adopción real por las familias.
- **La metodología es replicable.** Solo requiere el listado de domicilios del centro y no usa software ni servicios de pago; los cinco scripts están documentados en los anexos del trabajo (Maldonado Díaz, 2026).

El trabajo contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), por la mejora de la movilidad urbana y la reducción del tráfico en el entorno escolar, y 13 (Acción por el clima), por la reducción de emisiones de CO_2.

8.1. Seguimiento y próximos pasos

Se propone medir cada curso, con encuestas anuales a las familias y aforos manuales, el porcentaje de alumnado que va a pie, en bicicleta y en vehículo privado, los vehículos en el entorno en hora punta, el uso del aparcabicis, las emisiones evitadas y la satisfacción con el Camino Escolar. Un seguimiento conjunto del centro, la asociación de familias, el Ayuntamiento, la Policía Local y la empresa de transporte urbano, con al menos dos reuniones al año, permitiría contrastar el modelo con datos reales y sustituir las estimaciones por mediciones propias.

9. Bibliografía

Ayuntamiento de Jerez de la Frontera. (2021). *Plan de Movilidad Urbana Sostenible: Documento de revisión y actualización del modelo*.

Ayuntamiento de Madrid. (2008). *Plan Director de Movilidad Ciclista de Madrid: Costes y programación* (Vol. 8). Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda.

Clarke, G. y Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research, 12*(4), 568–581. https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568

Confederación Andaluza de Asociaciones de Padres y Madres de Alumnos de Andalucía. (2021). *Caminos escolares seguros: Manual didáctico*.

https://www.codapa.org/wp-content/uploads/2022/02/CAMINOS-ESCOLARES-SEGUROS.pdf

Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). *CartoCiudad*. https://www.cartociudad.es

Instituto Nacional de Estadística. (2021). *Cartografía de secciones censales* [Conjunto de datos]. https://www.ine.es

Instituto Nacional de Estadística. (2026). *Padrón municipal de habitantes 2026*. https://www.ine.es

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2023). *Factores de emisión de CO_2 para vehículos de transporte por carretera*.

Komoot. (s. f.). *Photon* [Software]. https://photon.komoot.io

Ley 9/2025, de 3 de diciembre, de Movilidad Sostenible. *Boletín Oficial del Estado*, 291, de 4 de diciembre de 2025. https://www.boe.es/eli/es/l/2025/12/03/9

Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. *Boletín Oficial del Estado*, 294, de 6 de diciembre de 2018. https://www.boe.es/eli/es/lo/2018/12/05/3

Maldonado Díaz, A. J. (2026). *Aplicación de la inteligencia artificial para evaluar y optimizar la movilidad escolar* [Trabajo Fin de Máster, Universidad Pablo de Olavide].

McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. En P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in econometrics* (pp. 105–142). Academic Press.

Ministerio de Sanidad. (2022). *Guía PACO y PACA: Pedalea y Anda al Cole y Pedalea y Anda a Casa*.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Informe anual del Observatorio del Transporte y la Logística en España*.

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2024). *Estudio de movilidad con Big Data: Open Data Movilidad*. https://opendata-movilidad.mitma.es/

Observatorio de la Movilidad Metropolitana. (2025). *Informe OMM 2023 – Avance 2024*. TRANSyT-UPM.

OpenStreetMap contributors. (s. f.). *OpenStreetMap*. https://www.openstreetmap.org

OpenStreetMap Foundation. (s. f.). *Nominatim documentation*. https://nominatim.org/release-docs/latest/

Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 119, 1–88. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj

CONAMA 2026