

IMPACTO EN LA ACEPTABILIDAD Y REPARTO MODAL DE LAS MEDIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN MADRID CENTRAL

José Manuel Vassallo Magro

Catedrático, TRANSyT (Universidad Politécnica de Madrid), España

Javier Tarriño Ortiz

Investigador predoctoral, TRANSyT (Universidad Politécnica de Madrid), España

Juan Gómez Sánchez

Profesor contratado doctor, TRANSyT (Universidad Politécnica de Madrid), España

Julio Alberto Soria Lara

Profesor contratado doctor, TRANSyT (Universidad Politécnica de Madrid), España

RESUMEN

Las ciudades han intensificado la implementación de Zonas de Bajas Emisiones (ZBE) para mejorar la vida urbana a partir de la mejora de la calidad del aire. En este contexto, se ha prestado limitada atención tanto a la aceptabilidad de las medidas adoptadas como al efecto producido sobre los patrones de viaje. Este estudio lleva a cabo un enfoque de modelización para conocer el impacto de cinco grupos de variables (características socioeconómicas y demográficas, actitudes personales, variables relacionadas con el viaje, percepciones y hábitos de movilidad relacionados con la ZBE y elección modal en la ZBE) en la aceptabilidad pública y en el cambio modal hacia modos de transporte más sostenibles. La ciudad de Madrid ha servido como caso de estudio debido a la reciente implementación de Madrid Central. Los datos para realizar los modelos de elección discreta se han obtenido de una encuesta con un total de 799 participantes. Los resultados muestran el poder explicativo de la conciencia ambiental, el modo de transporte más utilizado, el uso de sistemas de movilidad compartida y la frecuencia de viaje a Madrid Central en cuanto a la aceptabilidad pública así como el impacto de la ZBE en la reducción del uso del vehículo privado y la promoción de modos de transporte sostenibles, relacionados principalmente a las características sociodemográficas y a los hábitos de movilidad y las percepciones hacia la ZBE. Estos resultados pueden extrapolarse a otras ciudades en el contexto internacional y servir a los responsables políticos para comprender mejor los factores que influyen en la efectividad de las políticas de transporte.

1. INTRODUCCIÓN

La movilidad sostenible se está convirtiendo en una prioridad en las agendas de planeamiento de muchas ciudades (Banister 2008; Schwanen et al., 2011). Esta situación refleja el creciente interés en el reto que supone mejorar la contaminación atmosférica producida por el transporte a la vez que revela el conflicto entre maximizar los beneficios

de la movilidad y reducir su impacto ambiental (Polichetti, 2017; Ramos et al., 2017). Para abordar esta problemática, muchas ciudades (Sao Paulo, Beijing, París, Londres, etc.) han decidido implementar una Zona de Bajas Emisiones (ZBE) para limitar el uso de vehículos de combustión en favor de vehículos eléctricos, movilidad compartida y modos activos (Zainol et al., 2014; Szarata et al., 2017).

La adopción de ZBEs es una de las políticas de transporte más frecuentes para abordar los retos de la calidad del aire en las ciudades (Togel et al, 2014). Las ZBE consisten en un conjunto de políticas específicas que limitan el acceso de los automóviles dentro de un área definida. Dichas restricciones pueden establecerse a través de una variedad de políticas específicas: limitaciones de franjas horarias, cargos a los vehículos de motor, promoción del uso compartido del coche y peatonalización (Cass y Faulconbridge, 2016). La implantación de las ZBEs se produce en lugares con niveles de tráfico muy elevados y con una concentración relevante de actividad económica y social. La naturaleza, la extensión y las características de las ZBEs varían en función, entre otras cosas, de las normas culturales, los sistemas jurídicos y los objetivos de calidad del aire, (Alduán, 2014; Holman et al., 2015).

La implementación de ZBEs en Europa responde principalmente a los requerimientos de la Agenda Urbana de la UE y a su marco legal. La Agencia Europea de Medio Ambiente ha establecido unos límites de emisión para ciertos contaminantes siendo los miembros de la UE los responsables de cumplirlos. En el contexto europeo se han establecido normas específicas sobre las emisiones de contaminantes en las carreteras (por ejemplo, PM y NOx), que desencadenan restricciones al tránsito urbano aplicadas por las autoridades locales en función del tipo de vehículo (de Euro I a Euro VI). Estas restricciones al tráfico de automóviles parecen herramientas adecuadas para lograr ciudades habitables, transitables y saludables, pero su efectividad y viabilidad también está ligada a la alta controversia social que se genera cuando se implementan (Soria-Lara et al., 2019) ya que llevan asociadas cambios significativos en los patrones de movilidad de los ciudadanos (Moser et al, 2007; Graham-rowe et al, 2011; Ahanchian et al, 2019).

La literatura previa referente a ZBE se ha centrado principalmente en la medición directa de sus efectos sobre la calidad del aire y la renovación de la flota (Lutz, 2009; Ellison et al., 2013; Ferreira et al., 2015, Lebrusán & Toutouh, 2020). Para reducir la controversia social generada por estas áreas se considera prioritario estudiar la aceptabilidad social de la ZBE.

Además, se debe analizar su efectividad en cuanto a la reducción del uso del vehículo privado y su impulso al cambio modal hacia modos más sostenibles, para una mejor comprensión de la medida en cuanto a las emisiones producidas por el transporte, tal y como se ha hecho previamente en otras políticas similares (prohibición temporal del uso de vehículos privados, incentivos para los modos sostenibles, suministro de información en

tiempo real a los viajeros, la aplicación del sistema de información de estacionamiento telemático, etc.). De esta manera, pueden conocerse repercusiones económicas, ambientales y sociales asociadas a las ZBE que ayuden a los profesionales y a los responsables políticos a nuevos diseños y enfoques de implementación de estas zonas.

Esta investigación tiene como objetivo identificar las variables claves que explican la aceptabilidad de las ZBEs así como el impacto modal de las mismas en contextos urbanos (en especial el cambio modal experimentado por los usuarios de vehículo privado) utilizando un análisis de elección discreta. Para ello, se han utilizado los datos extraídos de una encuesta realizada a 799 ciudadanos de la Comunidad de Madrid. Dicha encuesta está estructurada en cinco bloques: (i) Características socioeconómicas y demográficas; (ii) Actitudes personales; (iii) Variables relacionadas con el tipo de viaje; (iv) Hábitos de movilidad y percepciones relacionadas con la ZBE; y (v) Elección modal de viaje respecto a la ZBE. La ciudad de Madrid ha servido como caso de estudio, por su reciente implementación de Madrid Central (2018).

El artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera. El capítulo 2 muestra la literatura previa en este campo. El capítulo 3 presenta el caso de estudio de Madrid. La encuesta realizada y los datos obtenidos se muestran en el capítulo 4. El capítulo 5 describe la metodología utilizada mientras que el capítulo 6 desarrolla los principales resultados obtenidos. Finalmente, el capítulo 7 concluye con las observaciones finales y la propuesta de futuras iniciativas de investigación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA: ANÁLISIS DE ZBEs

El análisis previo de las ZBEs y su impacto en la sostenibilidad es un tema de creciente interés en la literatura académica. Para contextualizar la revisión realizada, se han consultado dos grupos de estudios. En primer lugar, aquellos estudios basados en comparar la calidad del aire antes y después de la implementación de una ZBE. En segundo lugar, aquellos estudios que analizan el cambio modal producido por políticas de transporte similares a las ZBEs.

Dentro del primer grupo de estudios revisados, Duque et al. (2016) evalúan un conjunto de estrategias para reducir la contaminación atmosférica en la ZBE de Oporto utilizando una herramienta de modelización numérica. Sus resultados muestran que la ZBE tiene beneficios locales asociados a reducciones del 3% de la concentración de NO₂ mientras que no se observan reducciones en las concentraciones de PM. Del mismo modo, Dias et al. (2012) desarrollaron un enfoque de modelización integrada para evaluar los impactos en la calidad del aire de una ZBE en Coimbra, Portugal. Los autores encontraron una pequeña mejora de la calidad del aire dentro de la ZBE, teniendo dificultades para alcanzar los objetivos de calidad del aire. Además, observaron que las emisiones previstas a nivel de la ciudad podrían aumentar debido a la reconfiguración de los patrones de movilidad. Otro

estudio digno de mención fue realizado por Boogaard et al. (2012) en varias ciudades holandesas. Sus conclusiones muestran la escasa capacidad de las ZBE para producir reducciones significativas de la contaminación de los coches.

Otros autores destacan el impacto de las ZBE en la renovación del parque automovilístico de vehículos en todo el mundo (por ejemplo, en Berlín, Londres y Lisboa), provocando avances tecnológicos que reducen las emisiones por vehículo y mejoran la calidad del aire (Lutz, 2009; Ellison et al., 2013; Ferreira et al., 2015). Por último, el estudio realizado por Holman et al. (2015) en diferentes ciudades europeas, señala las dificultades para distinguir entre los efectos causados por una ZBE en la calidad del aire y los efectos provocados por otras medidas políticas, como la renovación de la flota. En el mismo sentido, York y Rouleau (2017) señalaron la escasa evidencia entre la aplicación de la ZBE y la mejora de la calidad del aire, dado el escaso número de evaluaciones ex-post, la influencia de los efectos de rebote no controlados y el desarrollo de la tecnología de los vehículos.

El segundo grupo de estudios se centra en el análisis de la elección modal impulsada por diferentes políticas de transporte similares a las ZBE, con especial interés en la reducción del tráfico de automóviles. Como indican Graham-Rowe et al. (2011), cabe destacar que no hay muchos estudios de alta calidad metodológica para evaluar la reducción del uso del vehículo privado. Sus autores señalan la escasa evaluación de las políticas de transporte con datos de movilidad ex-ante y ex-post como uno de los puntos más débiles de los estudios de investigación anteriores. A pesar de los problemas mencionados, cabe mencionar las siguientes aportaciones sobre el impacto de las políticas de movilidad en el cambio modal. Tertoolen et al. (1997) detallan cómo varias razones psicológicas (independencia, dinamismo de la persona, ingresos, etc.) pueden determinar el uso (o no) del vehículo privado. Los autores realizan una investigación basada en el suministro de información sobre el coste económico y medioambiental del uso del coche de 350 usuarios de la ciudad de Gouda (Países Bajos). Los resultados indican un aumento de la conciencia económica y medioambiental de los conductores, que no se refleja en un cambio de sus hábitos de elección modal. Eriksson et al. (2008) realizaron un experimento en dos ciudades suecas que consistía en interrumpir las pautas habituales de uso del coche. Se reclutó a un total de 71 usuarios de automóviles para el experimento. Los resultados muestran una relación directa entre la voluntad de reducir el uso del vehículo privado y el cambio modal. Croci (2016) realizó una evaluación comparativa de tres experiencias de tarificación vial en Europa para evaluar su eficacia en la reducción de las externalidades generadas por el tráfico rodado: Londres, en funcionamiento desde 2003; Estocolmo, en funcionamiento desde 2007; y Milán, en funcionamiento desde 2012. En todos los casos, se evidenciaron reducciones los niveles de tráfico y un cambio en los patrones de movilidad. La principal tendencia fue un cambio de los conductores de automóviles al transporte público superior al 10% en las tres ciudades europeas.

Más recientemente, Ahanchian et al. (2019) desarrollaron un modelo basado en agentes para simular patrones emergentes derivados de las acciones individuales para analizar las oportunidades de cambio modal en Dinamarca. Establecieron cuatro escenarios alternativos para probar el efecto sobre el cambio modal, con un enfoque especial en el cambio modal desde el vehículo privado: incentivos para los modos sostenibles, expansión de la infraestructura pública, desincentivos para los coches privados y combinación de estas medidas. Los resultados muestran, para el horizonte de 2050, una reducción general del uso del vehículo privado en todos los escenarios y el consiguiente aumento del transporte no motorizado y del uso del transporte público. Otros estudios destacan diferentes efectos que pueden cambiar los hábitos de movilidad y reducir el uso del vehículo privado, como un cambio de residencia (Bamberg, 2006), o una reubicación laboral para reducir el tiempo de desplazamiento (Mullins y Mullins, 1995).

Esta investigación añade a la literatura una evaluación ex post de la aceptabilidad pública hacia la implementación de una ZBE y la exploración de los efectos de las ZBE en el cambio modal.

3. LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ZBE DE MADRID CENTRAL

La ciudad de Madrid (España) tiene una superficie de 605 km² y una población de más de 3 millones de habitantes (5300 habitantes/km²), por lo que se trata de una ciudad compacta con una alta densidad de población. Desde la década de 1990, Madrid ha experimentado un rápido proceso de suburbanización, expandiéndose por su área metropolitana (8.022 km² y 6,5 millones de habitantes). Sin embargo, la ciudad de Madrid sigue ofreciendo la mayor oferta de empleo, comercio y ocio entre los municipios situados en su área metropolitana, generando una fuerte interdependencia con sus municipios circundantes. Como dato, sólo la ciudad de Madrid concentra el 60% del PIB regional.

Los índices de movilidad han aumentado significativamente en la región en los últimos años. Según la última encuesta de movilidad, se producen 15,8 millones de desplazamientos en día laborable en Madrid (Monzón, 2019). El número de desplazamientos dentro del área metropolitana ha aumentado un 30,4% desde 1996 hasta 2017, siguiendo un ritmo similar al del crecimiento de la población (32,7%). Sin embargo, se observan notables diferencias en función del modo de transporte. Por ejemplo, el número de viajes en transporte público ha aumentado un 10%, mientras que el crecimiento del uso del vehículo privado es mucho mayor (+60%). Esta tendencia es el resultado del proceso de suburbanización comentado anteriormente.

El reparto modal muestra un uso predominante del vehículo privado, incluyendo coches y motos (57,8%), entre las áreas metropolitanas, mientras que el uso del transporte público cubre el 36,9% de esos viajes, y los modos de transporte no motorizados (bicicleta y caminar) alcanzan el 3,8%. Se observa un reparto modal diferente dentro de la ciudad de

Madrid, donde la relevancia de los sistemas de transporte colectivo y de los modos no motorizados asciende al 37,8% y 36,8%, respectivamente. Por el contrario, el uso del vehículo privado es del 24,7%.

El área metropolitana de Madrid cuenta con una amplia red de transporte por carretera, que incluye diez autopistas. En particular, hay cuatro autopistas alrededor de la ciudad de Madrid (M-30, M-40, M-45 y M-50) que conectan diferentes municipios de su área metropolitana. La red de transporte público existente se basa en un sistema integrado, compuesto por autobuses, ferrocarril y servicios de metro. Para la fijación de las tarifas del transporte público, tanto la ciudad de Madrid como su área metropolitana se dividen en ocho zonas de transporte. Para cada una de estas zonas, el consorcio de transporte ofrece tres tipos de billetes: billete sencillo, billete de diez viajes y abono de transporte público, que permite el uso ilimitado del transporte colectivo durante un mes o un año. Dicho abono de transporte colectivo es muy utilizado entre los viajeros habituales, llegando a los 3,6 millones de usuarios. Además, existen precios reducidos en el abono de transporte colectivo para usuarios jóvenes (<26 años), mayores (>65 años), familias numerosas y personas discapacitadas. Además, para incrementar las oportunidades de elección modal en la ciudad, el gobierno local ha implantado un sistema público de bicicletas compartidas (BiciMAD). Otros servicios recientes de movilidad compartida son ofrecidos por operadores privados, como patinetes, motocicletas y coches eléctricos. La oferta de estos sistemas de movilidad compartida se concentra en el centro de la ciudad.

El elevado crecimiento de los desplazamientos motorizados dentro del área metropolitana de Madrid ha aumentado las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de contaminantes (por ejemplo, NO_x y PM). El mayor problema se produce en la ciudad de Madrid, donde el tráfico rodado genera el 74,4% de las emisiones locales, según los datos del Ayuntamiento de Madrid (2017). Desde 2011, los límites de calidad del aire establecidos por la UE se han superado durante varios episodios, sobre todo para el NO_x y el O₃. Las condiciones meteorológicas desfavorables de la ciudad de Madrid (inversión térmica) dificultan la eliminación de dichos contaminantes de la atmósfera de la ciudad, especialmente durante el otoño y el invierno. Para abordar este problema, el gobierno local de Madrid desarrolló un plan de calidad del aire llamado "Plan A" (2017), siendo la implantación de una Zona de Bajas Emisiones uno de los más destacados esquemas políticos del Plan. Dicha ZBE fue implementada con el nombre de Madrid Central.

Madrid Central fue implementado el 30 de noviembre de 2018, abarcando una superficie de 5 km² en el centro de la ciudad de Madrid. Cuenta con múltiples modos de transporte para acceder a dicho área, con un total de 70 líneas de autobús, 4 líneas de metro, 57 estaciones de bicis compartidas, 27 paradas de taxi y 5946 plazas de aparcamiento subterráneo. Su objetivo es mejorar la calidad del aire y promover un centro de la ciudad más amigable para peatones, ciclistas, vecinos y visitantes.

Las restricciones de tráfico para los vehículos privados dependen de un sistema de etiquetado según el tipo de motor (Cero, Eco, C, B o A; de menor a mayor nivel de contaminación). Las características del parque automovilístico de Madrid y su área metropolitana se muestran en la Tabla 1.

Población	Etiqueta ambiental					
	A	B	C	Eco	Zero	
No residentes	Coche	No	Excepto parking/garajes	Excepto parking/garajes	Sí	Sí
	Motocicleta	No	Horario restringido (7 a 22h)	Horario restringido (7 a 22h)	Sí	Sí
	Distribución de mercancías	No	Horario restringido	Horario restringido	Sí	Sí
Invitados (máx.20/mes)	Sí (hasta 2020)	Sí	Sí	Sí	Sí	
Residentes	Sí (hasta 2025)	Sí	Sí	Sí	Sí	

Tabla 1 – Características de la flota de vehículos en Madrid y su área metropolitana.

Con el objetivo de reducir el uso de vehículos privados, se han impuesto restricciones de tráfico a los coches y motos privados para entrar en "Madrid Central" en función de cinco etiquetas medioambientales: Cero (nivel de contaminación más bajo), Eco, C, B o A (nivel de contaminación más alto) (Tabla 2). Estas categorías medioambientales están armonizadas a nivel nacional, en función del tipo de motor, la antigüedad y el tipo de vehículo. Hay que destacar que las restricciones para motocicletas son menores que para los coches. Asimismo, existen excepciones de acceso para residentes, discapacitados y vehículos de seguridad y emergencia. Además, los residentes disponen de un máximo de 20 invitaciones al mes para acceder a Madrid Central en vehículo privado.

Flota de vehículos	Etiqueta ambiental (%)				
	A	B	C	Eco	Zero
Motocicleta particular	25.4	17.1	56.6	0.9	0.0
Coche particular	25.5	34.1	37.4	2.7	0.3

Tabla 2 – Características de la flota de vehículos en Madrid y su área metropolitana.

Madrid Central fue una de las medidas políticas emblemáticas aplicadas por el antiguo gobierno de la ciudad, que contaba con el apoyo de una coalición de partidos de izquierda.

La aplicación de la medida suscitó una gran controversia en el debate político y en la opinión pública, tanto antes como después de su aplicación. Las disputas fueron sobre todo sobre la eficacia de la medida para reducir la contaminación, y su impacto en los viajeros y los servicios minoristas de la zona. La coalición de derechas que gobierna la ciudad desde mayo de 2019 ha establecido un nuevo plan de movilidad, con el nombre de Madrid 360, que mantiene la ZBE con algunos pequeños cambios en su funcionamiento y operación.

4. BASE DE DATOS: ENCUESTAS A LA POBLACIÓN

Se utiliza un enfoque basado en la modelización para abordar el objetivo principal de esta investigación, a saber, identificar las variables clave que explican la aceptabilidad pública y el cambio modal de Madrid Central. La principal fuente de datos fue una encuesta individual online que recogía diferentes tipos de variables: socioeconómicas y demográficas, actitudes personales, variables relacionadas con el viaje, percepciones y hábitos de movilidad vinculados a Madrid Central, y elección modal respecto a Madrid Central. Se realizó una encuesta piloto con un pequeño grupo de personas. Sus respuestas proporcionaron al equipo de investigación información para perfeccionar el diseño de la encuesta (por ejemplo, la legibilidad), añadiendo nuevas preguntas cuando fue necesario.

La encuesta definitiva se difundió entre los ciudadanos de Madrid y su área metropolitana de enero a junio de 2019. El plan de difusión incluyó redes sociales, páginas web especializadas y la difusión en la calle de folletos indicando el objetivo de la investigación.

Con esto último se pretendía incluir una adecuada heterogeneidad en la muestra en cuanto a las características sociodemográficas de la misma, dadas las limitaciones de difusión online para captar a todos los segmentos de población. Un total de 1300 personas rellenaron el cuestionario. Al final se obtuvieron 799 respuestas válidas. La encuesta constaba de los siguientes cinco bloques principales (Tabla 3):

- (i) Características socioeconómicas y demográficas de los individuos: género, edad, nivel de educación, ingresos mensuales y código postal de residencia.
- (ii) Actitudes personales, recogiendo información sobre las creencias y la ideología de los individuos, incluida la conciencia económica, social y medioambiental.
- (iii) Variables relacionadas con los viajes que afectan a los desplazamientos diarios: posesión individual de un permiso de conducir o un abono de transporte, la disponibilidad de un vehículo privado y la frecuencia de uso de los distintos modos de transporte (transporte colectivo y servicios de movilidad compartida).
- (iv) Percepciones individuales y hábitos de movilidad vinculados a la implementación de Madrid Central: frecuencia de viajes para acceder a Madrid Central, principales actividades realizadas dentro de esta zona, modos de transporte elegidos para acceder/salir de Madrid Central antes y después de la implantación de la ZBE, percepción de Madrid Central como peatón; y nivel individual de aceptabilidad de Madrid Central, incluyendo una pregunta abierta sobre posibles acciones para mejorar la aceptabilidad de la ZBE.
- (v) Elección modal en Madrid Central: cambio modal tras la implantación de Madrid Central, modos de transporte frecuentes para acceder a Madrid Central (máx. 2) antes y después de la implantación de la ZBE, factores que determinan la elección modal.

Bloque	Variables	Descripción	Tipo de pregunta
Características socioeconómicas y demográficas	Edad	Edad del encuestado (varias categorías)	Pregunta multirespuesta
	Género	Hombre/Mujer	
	Nivel de estudios alcanzado	Universitario / No universitario	
	Estado de empleo	Estudiante; trabajador; estudiante y trabajador; otro (amo de casa, desempleado, jubilado)	
	Sector de empleo	Sector primario e industria; comercio minorista u hostelería; transporte y logística; administración pública; estudiante, jubilado o sin empleo; ocio y otros.	
	Estructura del hogar	Composición y número de personas en el hogar (varias categorías)	
	Ingresos mensuales	Ingresos mensuales individuales (varias categorías)	
	Código postal de residencia	Código postal de la vivienda	Pregunta voluntaria
	Código postal de trabajo	Código postal del trabajo	
Actitudes personales	Ideología política	Izquierdas, derechas, centro, sin ideología	Pregunta multirespuesta
	Concienciación ambiental	Grado de concienciación ambiental	Escala-Likert de 5 puntos 1-Muy baja 5-Muy alta
	Concienciación social	Grado de concienciación social	
	Concienciación económica	Grado de concienciación económica	
Variables relacionadas con el viaje	Permiso de conducir	Posesión de carnet de conducir	Pregunta multirespuesta
	Disponibilidad de coche propio	Disponibilidad de al menos un coche en el ámbito del hogar	
	Disponibilidad de motocicleta propia	Disponibilidad de al menos una motocicleta en el ámbito del hogar	
	Disponibilidad de abono transporte público	Posesión de abono transporte público	
	Uso de servicios de transporte público	Frecuencia de uso de servicios de transporte público	Escala-Likert de 5 puntos 1-Muy baja 5-Muy alta
	Uso de servicios de movilidad compartida	Frecuencia de uso de servicios de movilidad compartida	
Percepciones y hábitos de movilidad relacionados con Madrid Central	Aceptabilidad de Madrid Central	Nivel de aceptabilidad individual de la medida	Escala-Likert de 5 puntos 1-Muy negativamente 5-Muy positivamente
	Impacto de Madrid Central en su viaje habitual	Impacto general sobre el viaje habitual en términos de tiempo, coste, comodidad, etc.	
	Evaluación de Madrid Central como peatón	Satisfacción individual al caminar por Madrid Central	
	Tiempo caminando dentro de Madrid Central	Variación de tiempo caminando en la zona tras la implementación de Madrid Central (reducción, mantenimiento o aumento)	Pregunta multirespuesta
	Aspectos a destacables de la peatonalización en Madrid Central	Aspectos a destacar positivamente como peatón en Madrid Central	
	Desarrollo de Madrid Central para los peatones	Medidas a implementar para mejorar la experiencia caminando en Madrid Central	
	Actividades de compras y ocio dentro de Madrid Central	Impacto sobre las actividades de compras y ocio en Madrid Central (reducción, mantenimiento o aumento)	
	Frecuencia de viaje a Madrid Central	Frecuencia de viaje a Madrid Central como destino (varias categorías)	
	Rol de Madrid Central en la vida del encuestado	Si el individuo vive, trabaja, ambas o ninguna en Madrid Central	
	Día que suele viajar a Madrid Central	Días laborales, no laborales o ambos	
	Principal actividad llevada a cabo en Madrid Central	Actividades diarias realizadas en Madrid Central (trabajo, estudio,	

		compras, tiempo de ocio, zona de paso)	
Elección modal en Madrid Central	Cambio en la elección modal tras la implementación de Madrid Central	Si el encuestado ha cambiado (o no) su modo de transporte para acceder a Madrid Central tras la implementación de la ZBE	Pregunta multirespuesta
	Modos de transporte habituales (máx.2) para acceder a Madrid Central antes de implementar la ZBE	Selección de los principales modos de transporte para acceder a Madrid Central antes de implementar la ZBE (solo los 2 modos de transporte más habituales)	
	Modos de transporte habituales (máx.2) para acceder a Madrid Central después de implementar la ZBE	Selección de los principales modos de transporte para acceder a Madrid Central después de implementar la ZBE (solo los 2 modos de transporte más habituales)	
	Factores que determinan su elección modal	Coste; tiempo; comodidad; flexibilidad horaria; posibilidad de carga; otros	

Tabla 3 – Estructura de la encuesta y variables incluidas.

Como se observa en la Tabla 4, la muestra presenta una mayor proporción de hombres (59,1%) y una menor presencia de personas mayores de 65 años (2,4%). Según su situación laboral, el 56,9% de los encuestados son asalariados, destacando la presencia de estudiantes (16,8%) y de asalariados a tiempo parcial que estudian al mismo tiempo (18,8%). Cabe mencionar que el 75,3% de los encuestados tiene estudios universitarios. En cuanto a la estructura del hogar, el 38,3% de los encuestados comparte hogar (compañeros de piso y parejas), el 30,8% son familias con hijos y el 28,4% vive con sus padres. El nivel de ingresos se distribuye uniformemente en la muestra, con un porcentaje representativo de encuestados en todos los subgrupos de ingresos incluidos en el cuestionario. El código postal se ha diseñado como una variable adicional en seis categorías: (i) Dentro de Madrid Central; (ii) Entre Madrid Central y la M-30; (iii) Entre la M-30 y la M-40; (iv) Entre la M-40 y la M-50; y (vi) Sin respuesta. Cabe destacar que todas las categorías incluidas en cada variable están adecuadamente representadas en la muestra.

El segundo bloque de la encuesta se centra en las actitudes personales (Tabla 4). Hay una mayor presencia de la ideología de izquierdas (36,9%) en comparación con otras opciones. Los encuestados también declararon niveles muy altos de concienciación en temas sociales (38,4%), económicos (40,3%) y medioambientales (53,4%).

	N	%		N	%
Características socioeconómicas y demográficas					
Edad			Estructura del hogar		
Menor de 25	235	29.4	Vivo solo	77	9.7
26-34	183	22.9	Vivo con mis padres	227	28.4
35-49	211	26.4	Comparto piso	87	10.9
50-64	151	18.9	Pareja sin hijos	148	18.5
Mayor de 65	19	2.4	Familia con niños mayores de 10 años	133	16.6
Género			Familia con hijos menores de 10 años, ancianos y/o discapacitados	127	15.9
Mujer	472	59.1	Ingresos mensuales		
Hombre	327	40.9	Sin ingresos	113	14.1
Nivel de estudios			< 800 €	97	12.1
Universitario	602	75.3	800 – 1.000 €	72	9.0
No universitario	197	24.7	1.000 – 1.300 €	109	13.7
Estado de empleo			1.300 – 1.600 €	91	13.7
Estudiante	135	16.9	1.600 – 2.000 €	115	14.4
Trabajador	455	56.9	2.000 – 2.500 €	79	9.9
Trabajador y estudiante	155	18.8	2.500 – 3.200 €	65	9.1
Amo de casa, desempleado o jubilado	59	7.4	> 3.200 €	58	7.3
Residencia					
Dentro de Madrid Central	126	15.8	Dentro de la M-30	123	15.4
Entre M-30 y M-40	197	24.7	Entre M-40 y M-50	163	20.4
Fuera de la M-50	132	16.5	Sin respuesta	58	7.2
Actitudes personales					
Ideología política			Concienciación social		
Izquierdas	295	36.9	Muy baja	99	12.4
Derechas	106	13.3	Baja	48	6.0
Centro	202	25.3	Neutra	159	19.9
Sin definir	196	24.5	Alta	186	23.3
Concienciación ambiental			Muy alta	307	38.4
Muy baja	33	4.5	Concienciación económica		
Baja	36	4.8	Muy baja	76	9.8
Neutra	109	13.6	Baja	50	6.2
Alta	189	23.7	Neutra	155	19.4
Muy alta	427	53.4	Alta	194	24.3
			Muy alta	322	40.2

Tabla 4 – Información socioeconómica y demográfica y actitudes personales

La Tabla 5 muestra también la información recogida sobre las variables relacionadas con los viajes. La mayoría de los encuestados tiene carnet de conducir (91,9%) y dispone de al menos un coche en su domicilio (79,2%). Sólo el 13,9% tiene un ciclomotor o una motocicleta en casa. La mayoría de los participantes (73,3%) tiene abono de transporte público, y la frecuencia de uso del transporte colectivo se distribuye uniformemente entre todas las categorías incluidas en la encuesta. Por último, los encuestados declaran un uso muy bajo de las formas de movilidad compartida existentes (el 72,2% de los encuestados rara vez utiliza estos servicios), lo que se alinea con los resultados obtenidos por la última Encuesta de Movilidad de Madrid (Monzón et al., 2019).

	N	%		N	%
Variables relacionadas con el tipo de viaje					
Carnet de conducir			Disponibilidad de vehículo		
Sí	734	91.9	Coche	633	79.2
Abono de transporte público			Motocicleta	111	13.9
Sí	586	73.3	Uso de servicios de movilidad compartida		
Uso de transporte público			Muy bajo	577	72.2
Muy bajo	226	28.3	Bajo	98	12.3
Bajo	122	15.3	Neutro	75	9.4
Neutro	88	11.0	Alto	30	3.7
Alto	108	13.5	Muy alto	19	2.4
Muy alto	255	31.9			

Tabla 5 – Variables relacionadas con el tipo de viaje.

El cuarto grupo de variables contiene las percepciones individuales y los hábitos de movilidad vinculados a Madrid Central (Tabla 6). Más de una cuarta parte de los encuestados (27,3%) mostró que la implantación de Madrid Central ha tenido un impacto muy negativo o negativo en sus desplazamientos habituales, mientras que un total del 23% señaló un impacto positivo o muy positivo. Sólo una pequeña parte de los participantes indicaron una valoración negativa (6,3%) o muy negativa (4,4%) como peatones al caminar dentro de Madrid Central. Además, el 24,7% de los encuestados han aumentado su tiempo de caminar en la ZBE después de la implementación de Madrid Central, pero la mayoría de ellos (71,5%) mantuvo sus hábitos previos. La variación de tiempo dedicado a las actividades de comercio y ocio de los individuos tras la implementación de Madrid Central muestra porcentajes similares entre los encuestados que afirman que han disminuidos dichas actividades (38,2%), las han aumentado (34,9%) o han mantenido constantes sus hábitos (26,9%) en comparación con la situación anterior a la ZBE. La frecuencia y el día habitual de los viajes se distribuyen adecuadamente en la muestra, con un número notable de encuestados para cada categoría. Las actividades realizadas en "Madrid Central" son ocio (32,0%), trabajo (27,9%) y compras (21,8%).

Por último, mostramos las tendencias resultantes en cuanto a la aceptabilidad de los individuos de Madrid Central. El grado de aceptabilidad se divide en cinco categorías utilizando una escala de Likert de cinco puntos (1-muy negativo, 5-muy positivo). Un 36,2% de los encuestados mostró una opinión muy positiva de "Madrid Central", mientras que el 31,7% manifestó una opinión positiva. Por el contrario, sólo el 9,5% de los encuestados señaló una opinión muy negativa hacia "Madrid Central", mientras que un 14,6% señaló una opinión negativa. El 8,3% restante ofreció una evaluación neutra. En general, se observa que Madrid Central parece contar con bastante apoyo por parte de la población.

Percepciones y hábitos de movilidad relacionados con Madrid Central					
Impacto de Madrid Central en los viajes habituales			Evaluación como peatón de Madrid Central		
Muy negativo	94	11.8	Muy negativo	35	4.4
Negativo	124	15.5	Negativo	50	6.3
Neutro	397	49.7	Neutro	184	23.0
Positivo	99	12.4	Positivo	198	24.8
Muy positivo	85	10.6	Muy positivo	332	41.5
Tiempo caminando en Madrid Central			Aspectos a destacar como peatón **		
Aumento	197	24.6	Mejora de la calidad del aire	466	58.3
Mantenimiento	571	71.5	Incremento de espacios públicos	391	48.9
Reducción	31	3.9	Reducción de ruido	437	54.7
Desarrollo de Madrid Central para peatones **			Incremento de zonas de reunión	191	23.9
Preferencia de tráfico peatonal	216	27.0	Mejoras de seguridad para peatones y ciclistas	328	41.1
Calles exclusivamente peatonales	328	41.0	Actividades de compra y ocio en Madrid Central		
Aumento de ancho de aceras	412	51.6	Aumento	279	34.9
Total prohibición de vehículos	130	16.3	Mantenimiento	215	26.9
Arboles para sombras	409	51.2	Reducción	305	38.2
Frecuencia de viaje a Madrid Central			Rol de Madrid Central en el individuo		
< 1 viaje/mes	75	9.4	Residencia y trabajo	40	5.0
> 1 viaje/mes	133	16.7	Residencia	56	7.0
< 2 viaje/mes	139	17.4	Trabajo	161	20.2
2-5 viaje/mes	179	22.4	Sin relación	542	67.8
5-10 viaje/mes	93	11.6	Principal actividad realizada en Madrid Central *		
> 10 viaje/mes	180	22.5	Trabajo	223	27.9
Tipo de día de viaje a Madrid Central			Estudio	67	8.4
Laboral	136	17.0	Compras	174	21.8
No laboral	239	29.9	Ocio	256	32.0
Ambos	424	53.1	Zona de paso	63	7.9
			Otro	16	2.0
			Aceptabilidad de Madrid Central		
Muy negativa	115	14.4	Positiva	253	31.7
Negativa	75	9.4	Muy positiva	290	36.3
Neutra	66	8.2			

Tabla 6 – Percepciones y hábitos de movilidad en relación a Madrid Central.

Además, se animó a todos los encuestados a señalar posibles acciones para mejorar la satisfacción con Madrid Central. Los participantes con una aceptación positiva o muy positiva de Madrid Central indicaron principalmente las siguientes acciones: aumentar los servicios actuales de transporte público (80,6%); una mejor promoción del coche compartido (44,7%); apoyo financiero para renovar la flota de vehículos privados (44,1%); y ampliar Madrid Central (31,9%). Los participantes con una aceptación negativa o muy negativa de Madrid Central señalaron: la necesidad de una mayor oferta de servicios de

transporte colectivo (49,7%) y de apoyo financiero para renovar la flota de vehículos privados (46,1%). Otras medidas mostradas por este grupo de encuestados fueron permitir que los vehículos de combustión lleguen a Madrid Central durante algunas franjas horarias (34,6%); implantar una tasa para acceder a Madrid Central en vehículo privado (22,8%); y reducir la extensión actual de Madrid Central (22,0%).

El último bloque aborda la elección modal de los individuos antes y después de la implementación de Madrid Central (Tabla 7). La mitad de los encuestados (49,9%) indicaron un cambio modal provocado por la ZBE. Los encuestados también indicaron sus dos modos de transporte más frecuentes para acceder a Madrid Central antes y después de su implantación. El coche privado (solo o con acompañante) y el metro (53,3%) eran la opción más frecuente para viajar a la ZBE antes de la implantación de Madrid Central (50,6%). A estos modos de transporte les seguían el autobús (21,1%), el tren de cercanías (12,5%) y caminar (12,6%). Tras la puesta en marcha de Madrid Central, el metro sigue siendo el modo de transporte más utilizado para acceder a Madrid Central, seguido del autobús (27,4%), el coche privado (solo o con acompañante) (21%), caminar (18,4%) y el tren de cercanías (16,4%). Además, los encuestados indicaron los factores más determinantes para explicar su elección modal. En este sentido, destacaron los siguientes factores: comodidad (55,3%) y tiempo de viaje (53,4%), seguidos del coste (42,9%).

	N	%		N	%
Elección modal en Madrid Central					
Cambio en la elección modal tras implementar la ZBE					
Sí	399	49.9			
Modos de transporte habituales (máx.2) para acceder a Madrid Central antes de su implementación*			Modos de transporte habituales (máx.2) para acceder a Madrid Central antes de su implementación*		
Vehículo privado solo	251	31.4	Vehículo privado solo	105	13.4
Vehículo privado acompañado	153	19.2	Vehículo privado acompañado	61	7.6
Metro	426	53.3	Metro	495	62.0
Autobús	169	21.1	Autobús	218	27.3
Tren	100	12.5	Tren	131	16.4
Bicicleta	40	5.0	Bicicleta	58	7.3
Caminando	101	12.6	Caminando	147	18.4
Taxi/VTC	32	4.0	Taxi/VTC	66	8.3
Coche compartido	19	2.4	Coche compartido	47	5.9
Patinete compartido	1	0.1	Patinete compartido	10	1.3
Motocicleta compartida	11	1.4	Motocicleta compartida	22	2.8
Influential factors to modal choice **					
Coste	343	43.6	Flexibilidad	261	33.2
Tiempo	427	54.2	Carga	162	20.6
Comodidad	442	56.2			

* Los encuestados podían responder un máximo de 2 categorías

** Los encuestados podían seleccionar varias categorías

Tabla 7 – Elección modal en Madrid Central

5. METODOLOGÍA: MODELOS DE ELECCIÓN DISCRETA

El enfoque de la investigación se centra en el uso de un marco de elección discreta basado en especificaciones logit. La formulación original de los modelos logit, derivada de la teoría de la maximización de la utilidad y el comportamiento, supone que los responsables de la toma de decisiones son maximizadores de la utilidad. Es decir, los individuos elegirán la opción con la mayor utilidad para ellos. La investigación sobre el transporte ha utilizado previamente los modelos logit (Thrane, 2015; Hammadou y Papaix, 2015; Arbués et al. 2016). En el estudio se realizan tres modelos logit (un logit binario y dos logit ordenados).

El primer modelo explora la aceptabilidad de la población respecto a Madrid Central utilizando un modelo logit ordenado. La variable dependiente es la aceptabilidad individual de Madrid Central, medida mediante una escala Likert de cinco puntos. La aceptabilidad de la ZBE Madrid Central se ha recogido como una variable discreta ordenada (1 = Muy negativa; 2 = Negativa; 3 = Neutral; 4 = Positiva; 5 = Muy positiva).

El segundo modelo analiza los cambios en la elección modal para llegar a Madrid Central, asumiendo dichos cambios desde una lógica binaria (0 = la elección modal no cambia tras implantar Madrid Central; 1 = la elección modal cambia tras implantar Madrid Central). La naturaleza discreta de la variable dependiente ha llevado a la adopción de una especificación logit binaria para este modelo.

El tercer modelo obtiene información sobre los cambios de elección modal entre los individuos que utilizaban el vehículo privado antes de la implantación de Madrid Central.

La variable dependiente se basa en una variable discreta ordenada que capta una graduación de las opciones de cambio modal tras la implantación de Madrid Central. A partir de la información reportada sobre los modos de transporte utilizados antes y después de la implantación de la ZBE, se construyó una variable dependiente con la siguiente codificación: (1) aumento del uso del vehículo privado en comparación con la situación anterior a la ZBE (este grupo de individuos renunció a utilizar otros modos de transporte y sólo utilizó su vehículo privado para llegar a Madrid Central); (2) mantenimiento del hábito de uso del vehículo privado después de "Madrid Central"; (3) reducción del uso del vehículo privado favor del taxi/VTC; (4) reducción del uso del vehículo privado en favor del transporte público o modos activos; (5) abandono del uso del vehículo privado para llegar a Madrid Central. Estas cinco categorías establecen una graduación de la sostenibilidad derivada del cambio modal de los conductores de vehículo privado tras la implementación de Madrid Central.

6. RESULTADOS

Esta sección presenta los principales resultados del análisis realizado en esta investigación.

En primer lugar, la sección 6.1 muestra los resultados obtenidos del modelo logit sobre la aceptabilidad de la ZBE. La sección 6.2 presenta los resultados descriptivos sobre el cambio modal tras la aplicación de Madrid Central, que llevaron al desarrollo del modelo logit binario sobre el cambio modal y al modelo logit ordinario sobre el cambio modal de los antiguos usuarios de vehículo privado, principal grupo afectado por la medida, de los cuales se analizarán sus principales resultados.

6.1 Análisis de la aceptabilidad de Madrid Central

Dado que las variables explicativas utilizadas en el modelo eran en su mayoría categóricas, la interpretación de los resultados de la modelización requería la selección de un caso base. Esto nos permitió determinar si, para cada variable explicativa, las respuestas de los individuos eran estadísticamente significativas entre categorías en comparación con el caso base. Las categorías base elegidas pueden consultarse en la Tabla 8.

Los resultados del modelo logit ordenado que explora la aceptabilidad hacia Madrid Central se muestran en la Tabla 8. El modelo identifica las variables explicativas que desde un punto de vista estadístico (p valor $< 0,05$) influyen el nivel de aceptabilidad de Madrid. Un signo positivo indica una mayor aceptabilidad hacia Madrid Central en comparación con el caso base. La mayoría de las variables explicativas que resultaron no estadísticamente significativas fueron finalmente eliminadas de la última versión del modelo.

Bloques	Variables explicativas	Coef.	Std. Error	p-valor
SOCIOECONÓMICAS Y DEMOGRÁFICAS	<i>Estado de empleo</i>			
	Estudiante y trabajador	0.427	1.192	0.026
	<i>Estructura del hogar</i>			
	Comparto vivienda	0.395	0.168	0.018
ACTITUDES PERSONALES	<i>Ideología política (caso base: izquierdas)</i>			
	Centro	-0.870	0.204	0.000
	Derecha	-1.637	0.249	0.000
	Ninguno	-0.930	0.208	0.000
	<i>Concienciación ambiental</i>	0.464	0.176	0.008
VARIABLES RELACIONADAS CON EL TIPO DE VIAJE	<i>Disponibilidad de motocicleta propia (caso base: no)</i>			
	Sí	0.496	0.218	0.023
	<i>Abono transporte público (caso base: no)</i>			
	Sí	0.518	0.172	0.003
	<i>Uso de servicios de movilidad compartida</i>			
	Ato	-0.533	0.205	0.009
PERCEPCIONES Y HÁBITOS DE MOVILIDAD RELACIONADOS CON MADRID CENTRAL	<i>Impacto general en los viajes habituales (caso base: muy negativo)</i>			
	Negativo	1.527	0.281	0.000
	Neutral	2.201	0.296	0.000
	Positivo	2.809	0.374	0.000
	Muy positivo	3.567	0.443	0.000
	<i>Tiempo caminando en la ZBE</i>			
	Incremento	0.734	0.191	0.000
	<i>Actividades de compras y ocio en Madrid Central después de las restricciones (caso base: reducción)</i>			
	Mantenimiento	1.380	0.212	0.000
	Aumento	1.930	0.242	0.000
	<i>Frecuencia de viaje a Madrid Central</i>			
	Más de 1 vez al mes y menos de 2 veces por semana	0.438	0.198	0.027
	<i>Tipo de día viajando a Madrid Central (caso base: día laboral)</i>			
Día no laboral	0.587	0.235	0.013	
Ambos	0.466	0.202	0.021	
<i>Principal actividad llevada a cabo en Madrid Central</i>				
Compras	-0.503	0.187	0.007	
<i>Cambio modal (caso base: no)</i>				
Sí	-0.567	0.184	0.002	
<i>Vehículo privado solo antes de Madrid Central (caso base: no)</i>				
Sí	-0.394	0.200	0.049	
<i>Vehículo privado acompañado antes de Madrid Central (caso base: no)</i>				
Sí	-0.306	0.201	0.128	
<i>Bicicleta tras Madrid Central (caso base: no)</i>				
Sí	0.681	0.356	0.056	
Cut1		-0.024	0.461	
Cut2		1.785	0.474	
Cut3		2.608	0.481	
Cut4		5.341	0.508	
No. obs.		799		
Log-Likelihood		-789.099		
Pseudo R ²		0.315		

Tabla 8 – Nivel de aceptabilidad de Madrid Central: resultados del modelo logit ordenado.

De acuerdo a los resultados del modelo, un pequeño número de variables sociodemográficas han resultado estadísticamente significativas en la explicación de la aceptabilidad pública de Madrid Central (ver Tabla 8). Los individuos que trabajan y estudian simultáneamente presentan una actitud más positiva hacia la ZBE. Los participantes que comparten vivienda también presentan una mayor aceptabilidad. Estos resultados están relacionados con el hecho de que las personas que forman parte de estos dos grupos son jóvenes (el 83,3% de los individuos que simultáneamente trabajan y estudian y el 90,8% de las personas que comparten piso son menores de 26 años), de bajos ingresos (el 70% de los individuos que trabajan y estudian simultáneamente y el 72,4% de los participantes que comparten un hogar tienen unos ingresos mensuales inferiores a 1300 €/mes), y menos dependientes del coche (el 68,6% de las personas que trabajan y estudian y el 86,2% de los individuos que comparten un hogar no utilizan un vehículo privado para acceder a Madrid Central) según los resultados de la encuesta. Por lo tanto, los modos de transporte colectivo son una buena opción para ellos, dadas las características de la red de transporte público de Madrid y el reducido precio de su abono transporte. Estos segmentos de población no parecen tener necesidad de un vehículo privado en casa, lo que supondría además un sobre coste.

La ideología política y la conciencia medioambiental resultan cruciales para entender la aceptabilidad de Madrid Central por parte de los ciudadanos. La ideología política parece ser un factor muy importante para la aceptación de Madrid Central, siendo todas las categorías de esta variable estadísticamente significativas (valor $p = 0,000$). Los encuestados con una ideología política de izquierdas muestran una aceptabilidad mucho mayor en comparación con otras ideologías políticas, especialmente los partidarios de los grupos políticos de derechas. En particular, para los individuos que apoyan a los partidos de izquierda, la probabilidad de valorar muy positivamente Madrid Central es cuatro veces mayor en comparación con los individuos que apoyan otras ideologías políticas. Este resultado está alineado con estudios anteriores que correlacionan las políticas restrictivas de transporte implementadas por los gobiernos locales (Christiansen, 2018).

Cabe destacar que la implementación de Madrid Central fue una de las medidas más importantes adoptadas por un gobierno local formado por una coalición de partidos de izquierdas. La medida ha sido objeto de numerosos debates entre partidos políticos de diferentes ideologías sobre su eficacia e influencia en cuestiones económicas y sociales. Nuestros resultados muestran claramente que los participantes con ideología de izquierdas estaban muy a favor de estas medidas, mostrándose en línea con la coalición de izquierdas en el gobierno. No obstante, cabe mencionar que Madrid Central parece ser una medida bastante apoyada por los madrileños, ya que más del 65% de los encuestados declaran tener una opinión positiva o muy positiva hacia la ZBE.

De acuerdo con el objetivo de las ZBE, la conciencia medioambiental de los individuos se relaciona fuertemente con la aceptabilidad. Es lógico que las personas más preocupadas por los problemas medioambientales sean propensas a apoyar iniciativas como Madrid Central. Los encuestados con una conciencia medioambiental alta y muy alta apoyan la implementación de "Madrid Central" (p-valor = 0,008), a pesar de que la eficacia de esta medida en la mejora de la calidad del aire aún no se ha demostrado de forma sólida. Además, cabe destacar que la conciencia social y económica de los individuos no se encontró estadísticamente significativa en la determinación de la aceptabilidad hacia la ZBE, a pesar de los impactos que pueda generar Madrid Central en la sociedad y la economía.

Los atributos relacionados con el viaje también influyen en el nivel de aceptabilidad de la población. La posesión de abono de transporte público o la posesión de una motocicleta privada están relacionadas con una mayor aceptabilidad de Madrid Central (p-valores = 0,023 y 0,003, respectivamente). Los propietarios del abono de transporte público de la muestra son usuarios que realizan una media de más de cuatro viajes al día. No es de esperar que se vean muy afectados por las restricciones del coche para acceder a Madrid Central, donde la accesibilidad y la oferta de transporte público son muy elevadas.

Como se ha demostrado anteriormente, las motocicletas han sufrido menos restricciones que los coches para entrar en Madrid Central, por lo que pueden verse favorecidas en el nuevo escenario de circulación. Esta razón probablemente lleva a tener una actitud más favorable hacia las políticas de movilidad basadas en las restricciones a los coches.

Sorprendentemente, los usuarios frecuentes de los servicios de movilidad compartida muestran un menor grado de aceptabilidad (p-valor = 0,009) en comparación con los usuarios ocasionales de estos servicios. Los usuarios frecuentes pueden temer que Madrid Central aumente el uso general de los servicios de movilidad compartida (por ejemplo, atrayendo a nuevos usuarios), reduciendo así su disponibilidad en el futuro.

Las variables de este grupo tienen un papel importante en la explicación de la aceptabilidad pública hacia Madrid Central. En primer lugar, el nivel de aceptabilidad está directamente relacionado con el impacto positivo o negativo de esta política en los desplazamientos realizados por los encuestados. Razonablemente, los participantes que han mantenido o mejorado su experiencia de viaje muestran una mayor aceptabilidad (valor p = 0,000) que aquellos que la han empeorado. Estos resultados son similares a los de otras políticas de transporte restrictivas, que han recibido valoraciones más bajas por parte de los usuarios perjudicados (Gaunt, 2007). Además, los ciudadanos que han aumentado sus rutinas diarias de caminar dentro de la ZBE también muestran una mayor aceptabilidad hacia "Madrid Central" (p-valor = 0,000). Este efecto se debe probablemente a que las políticas de restricción del uso del coche implican el desarrollo de ciudades más amables y transitables.

Los encuestados que aumentaron o mantuvieron sus actividades comerciales y de ocio en la zona tras la implementación de Madrid Central son más favorables a la ZBE, en comparación con los que redujeron sus niveles de actividad. En cuanto a los patrones de movilidad, los ciudadanos que viajan ocasionalmente a Madrid Central (como máximo dos veces a la semana o durante los fines de semana) muestran un mayor nivel de aceptabilidad. Sin embargo, los individuos cuya actividad principal dentro de la ZBE es ir de compras presentan una menor aceptabilidad, tal vez como consecuencia del impacto negativo que pueden tener las restricciones a los vehículos privados para cargar bolsas pesadas.

Los participantes que cambiaron su modo de transporte tras la implementación de Madrid Central presentan una aceptabilidad más negativa que aquellos que no lo hicieron. Por último, en cuanto al modo de transporte más utilizado antes y después de la implantación de Madrid Central, los ciudadanos que utilizaban su vehículo privado antes y después de la implementación de la ZBE muestran una menor aceptabilidad, mientras que los ciudadanos que se desplazan en bicicleta después de la adopción de Madrid Central tienen actitudes más favorables. Este resultado demuestra que Madrid Central ha sido eficaz para crear un mejor entorno para el uso de los modos activos.

6.2 Resultados descriptivos sobre el cambio modal tras la implementación de Madrid Central

Se observa un cambio relevante hacia patrones de movilidad sostenible tras la implementación de Madrid Central (Figura 1). La mitad de los encuestados (49,9%) ha declarado haber cambiado su modo de transporte habitual para acceder a Madrid Central tras la adopción de la medida.

En cuanto a la elección modal, hay que recordar que los encuestados podían seleccionar sus dos modos de transporte más frecuentes para llegar a Madrid Central. Así, los datos obtenidos indican la cuota modal captada por cada uno de los modos de transporte en relación con el número total de viajeros. Los resultados descriptivos indican un notable descenso en el uso del vehículo privado (-28,5% del total de encuestados), lo que significa que el 60% de los antiguos usuarios del coche han cambiado su modo de transporte habitual. Estos viajeros han cambiado principalmente a modos de transporte alternativos.

En particular, el transporte público y los modos activos son los modos de transporte más beneficiados por la implantación de Madrid Central. El transporte público aumentó su cuota modal del 66,7% al 75,6%. Del mismo modo, los modos activos (viajar a pie y/o en bicicleta) aumentaron del 16,8% al 25,0%. Los modos de transporte minoritarios, como los servicios de movilidad compartida, han duplicado sus usuarios la ZBE. Los servicios de taxi y VTC han aumentado su cuota del 4,0% al 8,3%, mientras que el uso de las opciones de movilidad compartida (carsharing, scooter sharing, etc.) creció del 3,8% al 8,4%.

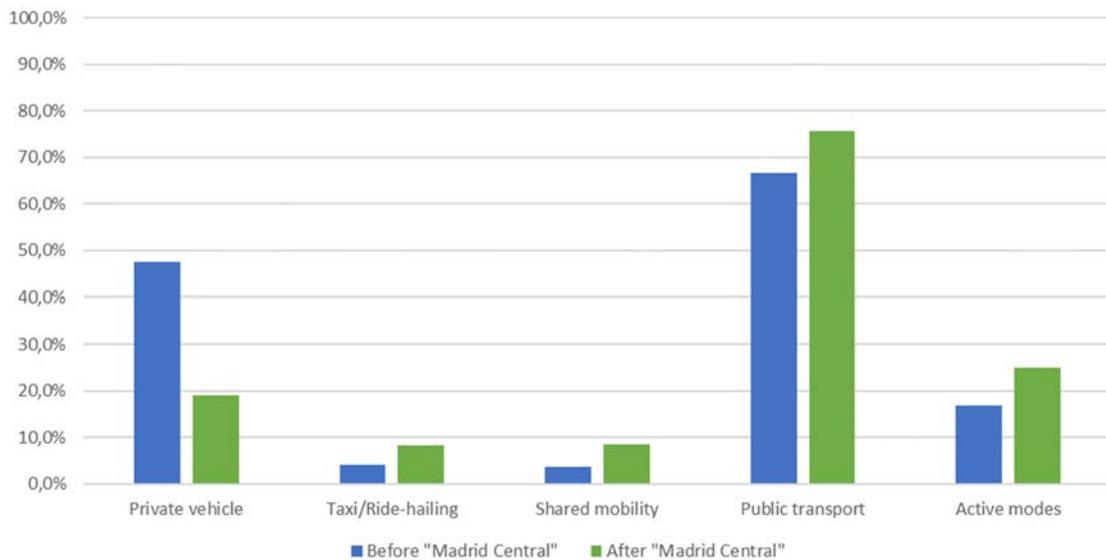


Fig. 1 – Elección modal antes y después de Madrid Central

6.3 Análisis del cambio modal en Madrid Central

Esta sección presenta los resultados del modelo dedicado a la exploración del cambio (o no) de elección modal para acceder a Madrid Central después de aplicar la ZBE. Para ello, se ha desarrollado un modelo logit binario (Tabla 9) que indica, desde un punto de vista estadístico (p -valor $< 0,05$), las variables que influyen dicha elección. Un signo positivo indica una mayor probabilidad de haber experimentado un cambio modal, mientras que un signo negativo indica una mayor probabilidad de haber mantenido su patrón de viaje.

Bloques	Variables explicativas	Coef.	Std. Error	p-valor
SOCIOECONÓMICAS Y DEMOGRÁFICAS	<i>Sector de empleo</i>			
	Sector primario e industria	-0.578	0.339	0.088
	Comercio y hostelería	-0.722	0.333	0.030
	Transporte y logística	-0.774	0.360	0.032
ACTITUDES PERSONALES	<i>Concienciación social</i>	-2.114	1.069	0.048
	<i>Concienciación social (2)</i>	0.520	0.256	0.043
VARIABLES RELACIONADAS CON EL VIAJE	<i>Disponibilidad de coche propio</i>	0.726	0.272	0.008
	<i>Impacto de Madrid Central en los viajes habituales (caso base: muy negativo y negativo)</i>			
	Neutral	-1.877	0.279	0.000
	Positivo	-1.965	0.379	0.000
	Muy positivo	-2.808	0.460	0.000
	<i>Evaluación peatonal de Madrid Central</i>	-0.550	0.109	0.000
	<i>Tiempo caminando en Madrid Central (caso base: reducción y mantenimiento)</i>			
	Incremento	1.110	0.238	0.000
	<i>Frecuencia de viaje a Madrid Central</i>			
	>1/mes y <2/semana	0.422	0.211	0.045
PERCEPCIONES Y HÁBITOS DE MOVILIDAD RELACIONADOS CON MADRID CENTRAL	<i>Principal actividad llevada a cabo en Madrid Central</i>			
	Compras	-0.435	0.243	0.073
	<i>Vehículo privado antes de Madrid Central</i>	1.604	0.234	0.000
	<i>Vehículo privado después de Madrid Central</i>	-1.348	0.284	0.000
	<i>Movilidad compartida después de Madrid Central</i>	0.931	0.350	0.008
ELECCIÓN MODAL EN MADRID CENTRAL	<i>Constante</i>	3.739	1.106	0.001
	<i>No. Obs</i>	799		
	<i>Log-Likelihood</i>	-339.757		

Tabla 9 – Cambio modal ocasionado por Madrid Central: resultados del modelo logit binario.

El sector de empleo parece ser la única variable sociodemográfica que influye en el cambio modal tras la implantación de Madrid Central. Hay dos sectores que muestran una influencia significativa ($p\text{-valor} < 0,05$): comercio y hostelería, y transporte y logística. Los individuos que trabajan en estos sectores tienen una menor probabilidad de cambiar su modo de transporte habitual para circular en Madrid Central. Una de las razones sería el uso del vehículo privado o de empresa como herramienta de trabajo con disponibilidad de garaje. En este sentido, cabe destacar que Madrid Central permite la entrada de vehículos siempre que aparquen en garajes privados.

En cuanto a las actitudes personales, la concienciación de los individuos sobre la sostenibilidad, recogida a través de una escala Likert de cinco puntos, es la única variable con un efecto estadísticamente significativo sobre el cambio modal.

Sorprendentemente, la conciencia medioambiental no es estadísticamente significativa para explicar el cambio modal.

En lo que respecta a las variables relacionadas con los viajes habituales, la disponibilidad de coches privados resulta crucial para explicar los cambios en la elección modal tras la implantación de Madrid Central. El principal cambio en la movilidad observado después de Madrid Central ha sido una disminución significativa del uso del coche. Otras variables relacionadas con el transporte, como la posesión de un abono de transporte público o el uso de modos de movilidad compartida, no resultan estadísticamente significativas en este modelo.

Por el contrario, los hábitos de movilidad de los individuos y las percepciones vinculadas a Madrid Central tienen un papel importante a la hora de explicar el cambio modal tras la adopción de la ZBE. En primer lugar, se observa que el impacto de Madrid Central en la movilidad diaria (viajes frecuentes) está inversamente relacionado con el cambio modal.

Razonablemente, las personas que no se han visto afectadas por las restricciones de Madrid Central o que incluso han visto mejoradas sus condiciones de acceso no han cambiado su modo de transporte, en comparación con aquellas personas cuyas opciones de movilidad se han visto limitadas. Además, la situación como peatón en Madrid Central presenta dos conclusiones diferentes. Por un lado, los encuestados que valoran positivamente la peatonalización de Madrid Central no han cambiado su modo de transporte, lo que puede deberse a que ya utilizaban modos de transporte sostenibles. Por otro lado, cabe destacar que los ciudadanos que han experimentado un cambio modal han aumentado su tiempo de paseo en Madrid Central.

Los individuos que viajan ocasionalmente a Madrid Central (más de 1 viaje/mes y menos de 2 viajes/semana) son más propensos a cambiar su modo de transporte habitual para llegar a la ZBE. Estos encuestados probablemente utilizaban el vehículo privado en estos desplazamientos antes de la implementación de Madrid Central, ya que no les resultaba familiar utilizar servicios como el transporte público o la movilidad compartida.

Los resultados del modelo también muestran que los encuestados cuya actividad principal en la zona es ir de compras son significativamente menos propensos a cambiar su modo de transporte. Esto puede estar relacionado con el uso del vehículo privado para facilitar la carga de bolsas.

Por último, es interesante analizar la influencia del modo de transporte utilizado antes de la implementación de Madrid Central en el cambio modal. Como se observa, los individuos que eran usuarios del vehículo privado antes de la ZBE son más propensos a cambiar su modo de transporte (valor $p = 0,000$).

En línea con lo comentado anteriormente, podemos concluir que, al menos en el caso de Madrid, el vehículo privado ha sido la opción de transporte más afectada por la implantación de la ZBE, provocando así tendencias positivas de movilidad más sostenible.

Por último, se observa que los individuos que utilizan modos de movilidad compartida tras la implantación de Madrid Central (por ejemplo, carsharing, ciclomotor compartido, etc.) son más propensos a haber cambiado su modo de transporte para desplazarse a Madrid Central. Este resultado puede indicar que los usuarios actuales de estos servicios proceden en su mayoría de otros modos de transporte debido a las restricciones establecidas por la ZBE.

6.4 Análisis del nivel de cambio modal experimentado por los usuarios de vehículo privado

Esta sección muestra los resultados del modelo logit ordenado que explora nivel de cambio modal de los conductores de vehículos privados tras la implantación de Madrid Central. Este modelo se centra exclusivamente en la submuestra de participantes que utilizaban su vehículo privado para acceder a la zona de Madrid Central antes de la implantación de la ZBE (380 encuestados). La tabla 10 resume cómo se codificó la variable dependiente y el número de participantes para cada categoría.

	N	%
<i>Nivel de cambio modal de los antiguos usuarios de vehículo privado (comparados con la situación previa a Madrid Central)</i>		
Incremento del uso de vehículo privado	7	1.8
Uso similar del vehículo privado	112	29.5
Reducción de uso del vehículo privado en favor del uso del taxi o VTC	32	8.4
Reducción de uso del vehículo privado en favor del uso de transporte público o modos activos	33	8.7
Abandono total del uso del vehículo privado	196	51.6

Tabla 10 – Caracterización de los antiguos usuarios de vehículo privado.

Dado que las variables explicativas utilizadas en el modelo eran en su mayoría categóricas, la interpretación de los resultados de la modelización requería la selección de un caso base. Esto nos permitió determinar si, para cada variable explicativa, las respuestas de los individuos eran estadísticamente significativas entre categorías en comparación con el caso base. Las categorías base elegidas pueden consultarse en la Tabla 11.

Un signo positivo en los resultados del modelo indica una mayor probabilidad de reducir el uso del vehículo privado en favor de otro modo de transporte para llegar a Madrid Central. Por el contrario, un signo negativo indica una probabilidad hacia el mantenimiento o el aumento del uso del vehículo privado para acceder a la zona de Madrid Central.

El modelo concluye que, desde un punto de vista estadístico (valor $p < 0,05$), el cambio modal de los antiguos usuarios del vehículo privado (personas que utilizaban el coche antes de la implantación de Madrid Central) está notablemente influenciado por una amplia gama de variables explicativas incluidas en la encuesta.

Bloques	VARIABLES explicativas	Coef.	Std. Error	p-valor
SOCIOECONÓMICAS Y DEMOGRÁFICAS	<i>Edad (caso base: mayor de 35 años)</i>			
	Menor de 25	-1.024	0.561	0.068
	26-34	-0.331	0.361	0.360
	<i>Género (caso base: mujer)</i>			
	Hombre	0.430	0.231	0.063
	<i>Nivel de estudios (caso base: no universitario)</i>			
	Universitario	-0.550	0.257	0.032
	<i>Estructura del hogar (caso base: familia con niños mayores de 10 años)</i>			
	Vivo solo	-0.685	0.444	0.123
	Vivo con mis padres	0.396	0.558	0.475
	Comparto piso	0.262	0.637	0.681
	Pareja sin hijos	-0.339	0.377	0.369
	Familia con hijos menores de 10 años, ancianos y/o personas discapacitadas	-0.875	0.335	0.009
	<i>Ingreso mensual (caso base: superior a 2.000€/mes)</i>			
	Sin ingresos propios	0.853	0.590	0.148
Menor de 1.300 €/mes	0.774	0.325	0.017	
1.300 – 2.000 €/mes	0.410	0.296	0.169	
ACTITUDES PERSONALES	<i>Ideología política (caso base: centro)</i>			
	Izquierdas	0.097	0.320	0.762
	Derechas	0.796	0.345	0.021
	Ninguno	1.031	0.302	0.001
VARIABLES RELACIONADAS CON EL VIAJE	<i>Disponibilidad de abono transporte público</i>			
	Sí	0.451	0.245	0.065
	<i>Uso de servicios de transporte público (caso base: muy bajo o bajo)</i>			
Medio, alto o muy alto	0.938	0.269	0.000	
PERCEPCIONES Y HÁBITOS DE MOVILIDAD RELACIONADAS CON MADRID CENTRAL	<i>Impacto de Madrid Central en los viajes habituales (caso base: neutro)</i>			
	Muy negativo	0.057	0.336	0.866
	Negativo	0.648	0.307	0.035
	Positivo	-0.185	0.469	0.694
	Muy positivo	0.643	0.554	0.246
	<i>Tiempo caminando en Madrid Central (caso base: reducción o mantenimiento)</i>			
	Incremento	0.479	0.265	0.070
	<i>Tipo de día de viaje a Madrid Central (caso base: laboral o ambos)</i>			
	No laboral	1.394	0.323	0.000
	<i>Principal actividad llevada a cabo en Madrid Central</i>			
Compras	-0.945	0.324	0.004	
ELECCIÓN MODAL EN MADRID CENTRAL	<i>Factores que influyen la elección modal</i>			
	Coste	0.482	0.261	0.065
	Tiempo	-0.822	0.240	0.001
	Comodidad	-0.388	0.234	0.097
	Carga	-1.270	0.243	0.000
<i>Cut1</i>				
		-5.007	0.697	
<i>Cut2</i>				
		-1.300	0.571	
<i>Cut3</i>				
		-0.806	0.569	
<i>Cut4</i>				
		-0.316	0.568	
<i>No. obs</i>				
		380		
<i>Log-Likelihood</i>				
		-382.670		
<i>Pseudo R²</i>				
		0.158		

Tabla 11 – Nivel de cambio modal de los antiguos usuarios de vehículo privado: resultados del modelo logit ordenado.

El modelo muestra que las características sociodemográficas juegan un papel importante para entender el cambio modal de los usuarios de vehículo privado. En primer lugar, se observa cómo la edad está cerca de ser estadísticamente significativa (p -valor = 0,068), lo que indica que los menores de 26 años son más persistentes en el uso del vehículo privado tras la implementación de Madrid Central. Tanto el género como el nivel de estudios son estadísticamente significativos a la hora de explicar el abandono del vehículo privado. Los hombres muestran una mayor tendencia que las mujeres (p -valor = 0,063) a reducir y dejar el vehículo privado para ir a Madrid Central. Además, los encuestados con estudios universitarios son más propensos a seguir utilizando el coche para llegar a la ZBE (p -valor = 0,032).

La composición del hogar es otra variable crucial que determina el cambio modal de los antiguos usuarios de vehículos privados. Las familias con personas dependientes (por ejemplo, niños menores de 10 años, personas mayores y discapacitadas, etc.) son más propensas a seguir utilizando sus vehículos privados para acceder a Madrid Central que las familias con niños mayores de 10 años. Esta situación puede asociarse a la necesidad de este tipo de familias de realizar desplazamientos puerta a puerta.

Los resultados del modelo también indican que el nivel de ingresos desempeña un papel importante para explicar el cambio modal de los usuarios de coche. Los individuos con ingresos mensuales inferiores a 1.300 euros son más propensos a reducir el uso del coche privado (p -valor = 0,017) en comparación con la categoría de referencia base (individuos con ingresos superiores a 2.000 euros/mes). Así pues, la población con niveles de ingresos elevados se muestra más reticente a dejar y sustituir sus coches para llegar a Madrid Central, ya que pueden permitirse tarifas de aparcamiento privado dentro de la ZBE y/o comprar un vehículo menos contaminante.

En cuanto a las actitudes personales, la ideología política parece ser estadísticamente significativa para explicar el cambio modal de los usuarios de vehículos privados tras la implantación de "Madrid Centra. Sorprendentemente, los modelos muestran que las personas de derechas y las personas que no revelaron su ideología política son más propensos a reducir y dejar de usar los coches para llegar a Madrid Central en comparación con las personas de centro, mientras que el resultado para las personas con ideología de izquierdas no es estadísticamente significativo.

Este hallazgo, similar al obtenido anteriormente por Tertoolen et al. (1997), parece contradictorio con las ideologías tradicionalmente asociadas a una mayor conciencia medioambiental y social (por ejemplo, la de izquierdas). Esto refuerza el argumento de que las razones personales tienen mucha más relevancia que la ideología para promover el cambio modal.

Asimismo, la posesión del abono de transporte público y hacer un uso intensivo de los sistemas de transporte público son variables estadísticamente significativas para explicar el abandono y la disminución del uso del vehículo privado. Este resultado está fuertemente alineado con el objetivo de las ZBE. El uso del transporte público en general facilita el abandono del coche. Otras variables relativas a los hábitos de movilidad y las percepciones relacionadas con Madrid Central resultaron estadísticamente significativas en el modelo.

En primer lugar, el impacto general de Madrid Central en los viajes regulares de los individuos tiene un efecto significativo en la elección modal actual de los usuarios del coche. Como se esperaba, las personas que perciben que Madrid Central les afectó negativamente tienen más probabilidades de haber reducido el uso del coche. Del mismo modo, los individuos que aumentan el tiempo dedicado a caminar dentro de Madrid Central después de su implantación tienen más probabilidades de haber abandonado y reducido el uso del vehículo privado para llegar a la ZBE.

El tipo de día en que los individuos viajan a Madrid Central también es estadísticamente significativo. Los individuos que acceden a la ZBE en días no laborales son más propensos (p -valor = 0,000) a abandonar o reducir el uso del vehículo privado. Esto puede explicarse por el hecho de que esas personas encuentran una mayor flexibilidad en la organización de sus viajes que las personas que llegan a Madrid Central en días laborales. Esta conclusión subraya la conveniencia para algunos ciudadanos de utilizar el vehículo privado para ahorrar tiempo en la vida cotidiana. Las iniciativas en materia de política de transportes deberían esforzarse por encontrar opciones sustitutivas del coche en términos de ahorro de tiempo en los desplazamientos. La actividad principal realizada en Madrid Central también está fuertemente relacionada con la elección de los individuos de utilizar (o no) vehículos privados tras la implantación de la ZBE. Los encuestados que declararon que su actividad principal era ir de compras presentan una mayor tendencia (p -valor = 0,004) a seguir utilizando sus vehículos privados. Esto está probablemente relacionado con el hecho de que el uso de vehículos privados facilita la carga de bolsas, como se ha comentado con anterioridad.

Por último, se estudia la influencia de los factores clave de los individuos (como el coste, el tiempo, la comodidad, etc.) para seleccionar su modo de transporte habitual. Como parece razonable, las personas con alta sensibilidad al coste del viaje son más propensas a reducir o abandonar el uso de su coche privado para llegar a Madrid Central.

Esto puede deberse a que llegar a Madrid Central en coche implica pagar un garaje privado, que es muy caro en la zona, mientras que el transporte público es asequible. Por otro lado, las personas sensibles al ahorro de tiempo, a la comodidad y muy preocupadas por la posibilidad de cargar peso son tienden a persistir en el uso de sus vehículos privados para llegar a Madrid Central. Estos tres factores están muy asociados a los atributos que suelen destacarse en los vehículos privados.

7. CONCLUSIONES

Este artículo aborda el necesario estudio sobre la aceptabilidad y el impacto en la elección modal del transporte consecuencia de la implementación de una ZBE. Tomando datos de una ZBE recientemente implementada en Madrid (llamada Madrid Central), se ha realizado un análisis de elección discreta para: i) determina los factores clave para explicar la aceptabilidad pública, ii) identificar los factores clave que explican el cambio modal después de implementar la medida, y iii) explorar los cambios en la elección modal entre los conductores de vehículos privados, lo cual es particularmente interesante dado que la reducción de vehículos privados es uno de los principales objetivos de las ZBE. Los resultados obtenidos pueden ser una plataforma interesante para que los responsables políticos consigan una mejor comprensión de las características de las personas que se sienten perjudicadas por las ZBE y determinar las variables clave para comprender mejor la elección modal y su efecto múltiple tras la aplicación de una ZBE. De esta manera, se pueden reorientar los impactos negativos y maximizar los beneficios sociales de las políticas de restricción de vehículos. Además, los resultados obtenidos podrían alimentar los procesos de planificación participativa, en los que se pueden seleccionar y comprometer diferentes perfiles de ciudadanos con respecto a la aceptabilidad de las ZBE (May e Isson, 2008; Whitmarsh et al., 2009; Soria-Lara et al., 2019)

Un hallazgo interesante es que la aceptabilidad de las ZBE en áreas urbanas, al menos en el caso de Madrid Central, está débilmente relacionada con aspectos socioeconómicos como el género, la edad, la educación o el nivel de ingresos. Por el contrario, la aceptabilidad se explica mucho mejor por la ideología política, la conciencia medioambiental y el impacto de las restricciones al uso del coche en los hábitos de movilidad individuales. En general, la aceptabilidad de Madrid Central es bastante positiva entre los madrileños, dada su alta conciencia medioambiental (77,1% de la muestra). Estos resultados están en consonancia con los obtenidos por Oltra et al. (2021) en el contexto de Barcelona, donde las personas con una alta conciencia medioambiental mostraron un mayor nivel de aceptación de las políticas de restricción del uso del coche. La fuerte relación entre ideología política y aceptabilidad es razonable, ya que la implementación de Madrid Central ha estado en el punto caliente del debate político en la región durante 2018, generando confrontación entre los partidos políticos.

En este sentido, aunque no se puede evitar cierta influencia política, las autoridades públicas deberían trabajar para ofrecer una mejor información a la comunidad basada en estudios de investigación cuantitativos que demuestren su impacto en aspectos como la contaminación atmosférica, el cambio modal y los impactos económicos y sociales. Eso contribuirá a que la gente obtenga un juicio objetivo, en lugar de pensamientos basados en la alineación ideológica con los partidos políticos.

Un resultado relevante es que la aceptabilidad de Madrid Central se asocia en gran medida con el impacto que esta política tiene en los hábitos de los individuos, especialmente en lo que se refiere al comportamiento de los viajes en movilidad. Los ciudadanos que han mejorado la calidad de sus viajes muestran una mayor aceptabilidad hacia Madrid Central. Los usuarios frecuentes del transporte público, los motociclistas y los usuarios ocasionales de servicios de movilidad compartida están a favor de Madrid Central, probablemente porque la medida les beneficia o al menos no les perjudica. Además, Madrid Central es más apoyado por aquellas personas que aprovecharon la medida para desarrollar una actividad comercial y de ocio más intensa, para disfrutar de los paseos a pie, o para empezar a ir en bicicleta hacia o dentro de la ZBE.

Sin embargo, Madrid Central es menos apoyado por las personas influenciadas negativamente por la ZBE. Los encuestados que se vieron obligados a cambiar su modo habitual para llegar a Madrid Central, especialmente las personas que utilizaban el vehículo privado, se oponen a las restricciones de automóviles. Este es un tema controvertido en la planificación del transporte, donde estudios anteriores (Szarata et al., (2017)) subrayan el rechazo inicial de los usuarios de automóviles y de los grupos locales a políticas similares que restringen el acceso en coche. Madrid Central tampoco es apoyado por las personas que van a comprar, probablemente porque el coche es la forma más cómoda para ellos de llevar bolsas pesadas. Finalmente, los usuarios frecuentes de servicios de movilidad compartida no están muy a favor de Madrid Central, probablemente porque pueden acabar experimentando una mayor competencia para alquilar estos servicios en la zona.

Para mejorar la aceptabilidad sin comprometer los estándares de sostenibilidad, las autoridades locales deberían centrarse en promover esquemas políticos que minimicen los impactos negativos sobre aquellos que se sienten perjudicados por las ZBE. En la encuesta, los autores del trabajo dejaron un texto libre a los encuestados para que sugirieran acciones que pudieran mejorar o complementar las políticas de restricción de coches dentro de Madrid Central. Una gran parte de los encuestados sugirió aumentar la frecuencia de los servicios de transporte público en la zona, proporcionar apoyo financiero a la renovación del parque de vehículos y promover enfoques de movilidad compartida. Ofrecer soluciones dentro de un marco sostenible puede contribuir, sin duda, a mejorar la aceptación de ciertos grupos de población.

En cuanto a la influencia sobre los patrones de movilidad, parece evidente el notable poder de Madrid Central para provocar cambios en la elección modal hacia medios más sostenibles. Según las respuestas de la encuesta, se produjo una reducción importante del uso del coche (-28,5% del total de encuestados), así como un aumento del uso del transporte público (+8,9%) y de los modos activos (+8,2%). Adicionalmente, cabe destacar el notable crecimiento observado en los servicios de transporte colectivo (+4,3%) y en las opciones de movilidad compartida (+4,6%) para desplazarse a Madrid Central.

Para ello será necesario aumentar la frecuencia y disponibilidad de los servicios de transporte público, así como la cantidad de puntos de recarga eléctrica.

Otro conjunto de conclusiones relevantes se refiere al cambio modal después de la ZBE, que se asocia en gran medida con las percepciones de los individuos y los hábitos de movilidad relacionados con Madrid Central. Por ejemplo, la frecuencia de los viajes y el tipo de actividad que suelen realizar los encuestados dentro de Madrid Central influyen enormemente en el cambio modal. Las personas que viajan a Madrid Central menos de dos veces por semana y más de una vez al mes son más propensas a cambiar de modo para acceder a la ZBE, mientras que los individuos cuya actividad principal realizada en Madrid Central es ir de compras son significativamente menos propensos a cambiar su modo de transporte. Esto revela un punto interesante para la elaboración de políticas: los viajeros no frecuentes son más propensos a cambiar su modo de transporte. Sin embargo, la zona tiene muchos viajes regulares ya que Madrid Central tiene una importante concentración de puestos de trabajo que obliga a muchas personas a desplazarse diariamente. Un problema similar se observa en los viajes de compras, ya que el comercio minorista es una de las principales actividades económicas dentro de Madrid Central. Las políticas futuras deberían explorar medios para contribuir a mejorar la accesibilidad de esas personas a Madrid Central en modos sostenibles sin comprometer el potencial comercial y laboral de la zona.

Un último nivel de conclusiones se centra en el impacto de Madrid Central en el cambio modal entre los usuarios de automóviles. Los encuestados con ingresos mensuales bajos (<1.300€/mes) tienden a dejar o reducir el uso de su vehículo privado más que las personas con ingresos altos.

Sin embargo, las familias con familiares dependientes (niños, ancianos y discapacitados) siguen utilizando su vehículo privado, dadas sus limitaciones de movilidad. Esta situación podría comprometer el carácter inclusivo y los efectos sociales de Madrid Central, ya que los ciudadanos con altos ingresos que se desplazan en su vehículo privado pueden permitirse aparcar en garajes y es más posible que puedan comprarse vehículos de menores emisiones.

Además, los factores clave para las opciones de movilidad de los individuos (como el coste, el tiempo, la comodidad, etc.) resultan ser cruciales para explicar el cambio modal. Es particularmente notable cómo las personas que se desplazan para hacer compras tienden a seguir eligiendo sus vehículos privados a pesar de la aplicación de la ZBE. En este sentido, el documento muestra que las razones personales parecen ser más importantes para la elección modal que la ideología o la concienciación. Este resultado se ve corroborado por el primer modelo, en el que variables como la conciencia medioambiental no tienen una influencia significativa.

Los resultados son especialmente útiles para el diseño de futuras estrategias políticas para la aplicación y el funcionamiento de las ZBE, de acuerdo con los objetivos ambientales, económicos y sociales. Se pueden señalar algunos aspectos para una mayor investigación.

Las futuras contribuciones deberían profundizar en múltiples aspectos derivados de la implantación de una ZBE: la optimización de los sistemas de transporte público para que se conviertan en una alternativa real a los vehículos privados en la zona afectada, las desigualdades sociales generadas por las ZBE, los efectos de dichas ZBE sobre el comercio minorista y otras actividades relevantes situadas en el centro de la ciudad, etc.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha desarrollado dentro del proyecto Co-Mov [Y2018/EMT-4818], cofinanciado por la Comunidad de Madrid (España), el Fondo Social Europeo y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

REFERENCIAS

AHANCHIAN, M., GREGG, J. S., TATTINI, J., & KARLSSON, K. B. (2019). Analyzing effects of transport policies on travelers' rational behaviour for modal shift in Denmark. *Case Studies on Transport Policy*, 7(4), 849–861.

ALDUÁN, A. S. (2014). Boletín CF+S. *Boletín CF+S*, 0(28), 67–70. <http://polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2851/2912>

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2017). Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático de Madrid.

BANISTER, D. The sustainable mobility paradigm. *Transp. Policy* 2008, 15, 73–80,

BOOGAARD, H.; JANSSEN, N.A.; FISCHER, P.H.; KOS, G.P.; WEIJERS, E.P.; CASSEE, F.R.; VAN DER ZEE, S.C.; DE HARTOG, J.J.; MELIEFSTE, K.; WANG, M.; et al. Impact of low emission zones and local traffic policies on ambient air pollution concentrations. *Sci. Total Environ.* 2012, 435-436, 132–140,

BAMBERG, S. (2006). Is a residential relocation a good opportunity to change people's travel behavior?: Results from a theory-driven intervention study. *Environment and Behavior*, 38(6), 820–840.

BANISTER, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80.

CASS, N., & FAULCONBRIDGE, J. (2016). Commuting practices: New insights into modal shift from theories of social practice. *Transport Policy*, 45, 1–14.

- CHRISTIANSEN, P. Public support of transport policy instruments, perceived transport quality and satisfaction with democracy. What is the relationship? *Transp. Res. Part. A Policy Pr.* 2018, 118, 305–318,
- COMUNIDAD DE MADRID. (2020). Encuesta domiciliaria de movilidad de la Comunidad de Madrid 2018. <https://www.crtm.es/conocenos/planificacion-estudios-y-proyectos/encuesta-domiciliaria/edm2018.aspx>
- CROCI, E. (2016). Urban Road Pricing: A Comparative Study on the Experiences of London, Stockholm and Milan. *Transportation Research Procedia*, 14, 253–262.
- DIAS, D.; TCHEPEL, O.; ANTUNES, A.P. Integrated modelling approach for the evaluation of low emission zones. *J. Environ. Manag.* 2016, 177, 253–263,
- DUQUE, L.; RELVAS, H.; SILVEIRA, C.; FERREIRA, J.; MONTEIRO, A.; GAMA, C.; RAFAEL, S.; FREITAS, S.; BORREGO, C.; MIRANDA, A. Evaluating strategies to reduce urban air pollution. *Atmos. Environ.* 2016, 127, 196–204,
- ELLISON, R. B., GREAVES, S. P., & HENSHER, D. A. (2013). Five years of London's low emission zone: Effects on vehicle fleet composition and air quality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, 25–33.
- ERIKSSON, L., GARVILL, J., & NORDLUND, A. M. (2008). Interrupting habitual car use: The importance of car habit strength and moral motivation for personal car use reduction. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(1), 10–23.
- FERREIRA, F., GOMES, P., TENTE, H., CARVALHO, A. C., PEREIRA, P., & MONJARDINO, J. (2015). Air quality improvements following implementation of Lisbon's Low Emission Zone. *Atmospheric Environment*, 122, 373–381.
- GAUNT, M.; RYE, T.; ALLEN, S. Public Acceptability of Road User Charging: The Case of Edinburgh and the 2005 Referendum. *Transp. Rev.* 2007, 27, 85–102,
- GRAHAM-ROWE, E., SKIPPON, S., GARDNER, B., & ABRAHAM, C. (2011). Can we reduce car use and, if so, how? A review of available evidence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(5), 401–418.
- HAMMADOU, H., PAPAIX, C., 2015. Policy packages for modal shift and CO2 reduction in Lille, France. *Transport. Res. Part D: Transport Environ.* 38, 105–116.
- HOLMAN, C., HARRISON, R., & QUEROL, X. (2015). Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. *Atmospheric Environment*, 111, 161–169.
- LEBRUSÁN, IRENE; TOUTOUH, JAMAL. Car restriction policies for better urban health: a low emission zone in Madrid, Spain. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 2020, p. 1-10.

- LUTZ, M. (2009). the Low Emission Zone in Berlin – Results of a First Impact Assessment. Workshop on “NOx: Time for Compliance,” 1–10. http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/download/paper_lez_berlin_en.pdf
- MAY, A.; ISON, S. Decision-support for sustainable urban transport strategies. *Transp. Policy* 2008, 15, 325–327, doi:10.1016/j.tranpol.2008.12.001.
- MONZÓN, A., CASCAJO, R., ROMERO, C., CALZADO, R., & LÓPEZ, C. (2019). Informe OMM-2017. 107. <https://doi.org/638-19-072-5>
- MÖSER, G., & BAMBERG, S. (2008). The effectiveness of soft transport policy measures: A critical assessment and meta-analysis of empirical evidence. *Journal of Environmental Psychology*, 28(1), 10–26
- MULLINS, G., & MULLINS, C. (1995) Proximate commuting: A demonstration project of a strategic commute trip reduction program. Final technical report. United States.
- OLTRA, C.; SALA, R.; LÓPEZ-ASENSIO, S.; GERMÁN, S.; BOSO, ÀLEX Individual-Level Determinants of the Public Acceptance of Policy Measures to Improve Urban Air Quality: The Case of the Barcelona Low Emission Zone. *Sustain. J. Rec.* 2021, 13, 1168,
- POLICHETTI, G. Effect of travel restriction on PM10 concentrations in Naples: One year of experience. *Atmos. Environ.* 2017, 151, 12–16, doi:10.1016/j.atmosenv.2016.11.065.
- RAMOS, R.; CANTILLO, V.; ARELLANA, J.; SARMIENTO, I. From restricting the use of cars by license plate numbers to congestion charging: Analysis for Medellin, Colombia. *Transp. Policy* 2017, 60, 119–130,
- SCHWANEN, T.; BANISTER, D.; ANABLE, J. Scientific research about climate change mitigation in transport: A critical review. *Transp. Res. Part. A Policy Pr.* 2011, 45, 993–1006,
- SORIA-LARA, J.A.; TARRIÑO-ORTIZ, J.; BUENO, P.; ORTEGA, A.; VASSALLO, J.M. A collaborative appraisal framework to evaluate transport policies for improving air quality in city centres. *Cities* 2019, 92, 112–124,
- SZARATA, A.; NOSAL, K.; DUDA-WIERTEL, U.; FRANEK, L. The impact of the car restrictions implemented in the city centre on the public space quality. *Transp. Res. Procedia* 2017, 27, 752–759,
- TERTOOLEN, G., VAN KREVELD, D., & VERSTRATEN, B. (1998). Psychological resistance against attempts to reduce private car use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(3), 171–181.
- THRANE, C., 2015. Examining tourists' long-distance transportation mode choices using a Multinomial Logit regression model. *Tour. Manage. Perspect.* 15, 115–121.
- TÖGEL, M., & ŠPIČKA, L. (2014). Low-Emission Zones in European Countries. *Transactions on Transport Sciences*, 7(3), 97–108.

WHITMARSH, L.; SWARTLING, Å.G.; JÄGER, J. Participation of experts and non-experts in a sustainability assessment of mobility. *Environ. Policy Gov.* 2009, 19, 232–250,

YORK, A., & ROULEAU, M. (2017). Can traffic management strategies improve urban air quality? A review of the evidence. *Journal of Transport & Health*, 7(August), 111–124.

ZAINOL, R.; AHMAD, F.; NORDIN, N.A.; ARIPIN, A.W.M. Evaluation of users' satisfaction on pedestrian facilities using pair-wise comparison approach. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2014, 18, 1–6