

Ricardo Badía Lázaro

Análisis espacial de la movilidad sostenible y la accesibilidad en el área metropolitana de Zaragoza mediante tecnologías de la información Geográfica. Evaluación de las variaciones de la accesibilidad entre dos perfiles diferentes de movilidad: El colectivo motorizado y el no motorizado

Director/es
Escolano Utrilla, Severino

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>



Universidad de Zaragoza
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606



Universidad
Zaragoza

Tesis Doctoral

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA MOVILIDAD
SOSTENIBLE Y LA ACCESIBILIDAD EN EL
ÁREA METROPOLITANA DE ZARAGOZA
MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. EVALUACIÓN
DE LAS VARIACIONES DE LA
ACCESIBILIDAD ENTRE DOS PERFILES
DIFERENTES DE MOVILIDAD: EL
COLECTIVO MOTORIZADO Y EL NO
MOTORIZADO

Autor

Ricardo Badía Lázaro

Director/es

Escolano Utrilla, Severino

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Escuela de Doctorado

Programa de Doctorado en Ordenación del Territorio y Medio Ambiente

2024

Tesis Doctoral

Análisis espacial de la movilidad sostenible y la accesibilidad en el área metropolitana de Zaragoza mediante tecnologías de la información Geográfica

Evaluación de las variaciones de la accesibilidad entre dos perfiles diferentes de movilidad: El colectivo motorizado y el no motorizado

Autor

Ricardo Badía Lázaro

Director/es

Severino Escolano Utrilla
Enrique Ruiz Budría

Facultad de Filosofía y Letras
2024

Dedicatoria

Esta tesis doctoral está dedicada a todos aquellos habitantes del entorno metropolitano de zaragoza que carecen de autonomía para desplazarse en vehículo particular, ellos son la motivación de este estudio y para ellos van dirigidas las conclusiones del mismo.

Agradecimientos

Me gustaría mostrar mi más sincero y profundo agradecimiento al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte por su respaldo a este proyecto, cuya viabilidad ha sido posible gracias a la concesión de una Beca de Formación del Profesorado Universitario (FPU) dentro del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación.

Quiero expresar mi gratitud a la Universidad de Zaragoza por otorgarme la oportunidad de desarrollar este proyecto en sus instalaciones, así como, y brindarme la oportunidad de vivir una enriquecedora experiencia en el campo docente.

Deseo reconocer el compromiso del Dr. Severino Escolano Utrilla, mi Director, por su dedicación hacia este proyecto, sus pertinentes orientaciones, así como por la exhaustividad y prontitud de sus revisiones, y especialmente por su paciencia conmigo desde el primer y hasta el último momento.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud a mi co-director, el Dr. Enrique Ruíz Budría, por su contribución en la decisión acertada de iniciar este proyecto, por su apoyo constante a lo largo de estos años y por todas sus contribuciones a este trabajo.

Me siento agradecido al Grupo de Estudios en Ordenación del Territorio por integramre como un miembro más, y en especial a su director Dr Ángel Pueyo Campos por avalar este proyecto y ceder datos de población procedentes de la Cátedra Territorio, Sociedad y Visualización Geográfica los cuales han sido fundamentales. En este sentido, deseo extender mi gratitud a todos los miembros de este grupo, pero en especial, a Sergio Valdivielso Pardos por haber recopilado y enviado los datos mencionados; al Dr. Carlos López Escolano, por haber sido un excelente mentor y referente, Ondrej Kratochvil, Jorge Dieste Hernández, Juan Antonio Parrilla Huertas por su compañerismo ejemplar en el trabajo diario.

También debo mostrar mi agradecimiento al Sustainable Places Research Institute, y especialmente con el Dr. Crispin Cooper, por el valioso conocimiento adquirido durante mi estancia de investigación en Cardiff (Reino Unido), así como por su apoyo en el aprendizaje del lenguaje de programación Python.

Quiero expresar mi aprecio a toda la comunidad de contribuyentes de OpenStreetMap por su labor, y en particular al Dr. Miguel Sevilla, por su entusiasta demostración del potencial

de la plataforma, así como por las numerosas contribuciones realizadas en el área de estudio.

Además, quiero expresar mi profundo agradecimiento a todos los compañeros de doctorado del Programa de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente con quienes compartí este viaje, y quienes han demostrado un gran apoyo y generosidad hacia mí. Especialmente, quiero reconocer al Dr. Alberto Serrano Andrés por su amistad y apoyo incondicional en este proyecto, a la Dra. Gina Paola González Angarita por su excepcional compañerismo y por contagiarme su entusiasmo por la investigación, al Dr. Rodrigo Moreno Mora, a Eduardo López Sosa y a Celia Salinas Sole por su amistad, acompañamiento y respaldo, a la Dra. Dhais Peña Angulo por ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación, a la Dra. Junnyluz Méndez Sánchez por su contribución de ideas y soporte, a Azucena Jiménez Castaneda por su vitalidad, amabilidad y por toda la ayuda brindada durante nuestro arduo camino de aprendizaje en programación, a los Drs. Xabi Garate López y Silvana Kloster Dos Santos y Estela Pérez Cardiel por su amistad y compañerismo, y al Dr. Aldo Arranz, por proponerme proyectos alternativos que fructificaron en varias publicaciones científicas

Quiero reconocer también el apoyo durante mis prácticas como docente de la Dra. María Zúñiga Ánton y el Dr. Antonio Luis Montealegre García, así como la colaboración y revisión de artículos realizada por parte del Dr. Eugenio Climent López de forma conjunta con mi director y codirector.

Finalmente, no puedo dejar de reconocer el inmenso respaldo brindado por mi familia a lo largo de todo este tiempo. En particular, agradezco profundamente a mis padres, Ricardo Badía Orte y María Pilar Lázaro Sánchez, así como a mi hermana, Isabel Badía Lázaro, por haberme inculcado valores sólidos y haber cultivado en mí la cultura del esfuerzo. Agradezco su amor incondicional, su confianza constante en mí, incluso más allá de mis propias dudas, así como por los numerosos y recurrentes viajes en coche hasta Zaragoza durante mi etapa de doctorando. Quiero hacer extensivo este mismo agradecimiento a mis tías, tíos, primas, primos, así como a mi círculo más cercano de amigos. Sin su cariño y confianza, este proceso habría sido mucho más difícil.

Resumen

Recientemente, la geografía de los transportes ha experimentado una renovación bajo el enfoque de la movilidad sostenible (Banister, 2008). A este respecto, la literatura científica ha concentrado su atención principalmente en las repercusiones ambientales adversas ocasionadas por el uso masivo del vehículo privado en la movilidad urbana. Sin embargo, un conjunto limitado de estudios aborda la vertiente social de la movilidad sostenible y, específicamente, el menor nivel de accesibilidad experimentado por aquellas personas que no disponen de acceso al automóvil para sus desplazamientos. Estas diferencias son especialmente relevantes en áreas con una oferta limitada de transporte público, como es el caso del entorno metropolitano de Zaragoza.

El objetivo de esta investigación consiste en analizar el grado de accesibilidad proporcionado por el sistema de transporte colectivo del área metropolitana de Zaragoza a su población, atendiendo a sus características sociodemográficas. Con este fin, se ha generado una base de datos conforme al estándar General Transit Feed Specification (GTFS), la cual engloba todas las expediciones de transporte público en dicha área. La metodología empleada posibilita la consideración de las fluctuaciones espaciotemporales en la accesibilidad del transporte público.

Los resultados muestran una marcada disparidad en los niveles de accesibilidad entre la ciudad de Zaragoza y su periferia. Una proporción importante de población posee un elevado nivel de acceso tanto al centro de la ciudad como a los servicios sanitarios y a la educación superior. No obstante, numerosas localidades dentro del área metropolitana exhiben un nivel de accesibilidad calificado como deficiente o muy deficiente. Además, en estas mismas áreas, los tiempos de viaje en transporte público son considerablemente mayores a los calculados para el vehículo privado.

La discusión y las conclusiones proporcionan una visión más clara sobre las implicaciones de los diversos niveles de accesibilidad para la población no motorizada, así como las características del servicio de transporte público que ejercen una influencia predominante en la misma. Además, se presentan propuestas dirigidas a mejorar y equilibrar las oportunidades de acceso en el área de estudio.

Abstract

Recently, the geography of transportation has undergone a renewal under the framework of sustainable mobility (Banister, 2008). In this regard, scientific literature has primarily focused on the adverse environmental repercussions caused by the extensive use of private vehicles in urban mobility. However, a limited set of studies addresses the social aspect of sustainable mobility, specifically the lower level of accessibility experienced by individuals who lack access to private cars for their travels. These differences are particularly relevant in areas with limited public transportation, such as the metropolitan area of Zaragoza.

The aim of this research is to analyze the level of accessibility provided by the public transportation system in the metropolitan area of Zaragoza to its population, considering their sociodemographic characteristics. To this end, a database has been generated according to the General Transit Feed Specification (GTFS) standard, covering all public transportation expeditions in the area. The methodology employed enables the consideration of spatiotemporal fluctuations in public transportation accessibility.

The results reveal a marked disparity in accessibility levels between the city of Zaragoza and its periphery. A significant portion of the population has high accessibility levels to both the city center and to healthcare and higher education services. However, numerous localities within the metropolitan area exhibit accessibility levels classified as deficient or very deficient. Additionally, in these areas, public transportation travel times are considerably longer than those calculated for private vehicles.

The discussion and conclusions provide a clearer understanding of the implications of different accessibility levels for the non-motorized population, as well as the characteristics of the public transportation service that have a significant impact on accessibility. Furthermore, proposals aimed at improving and balancing access opportunities in the study area are presented.

Tabla de Contenidos

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, CUESTIONES DE INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Cuestiones de investigación	6
1.3 Objetivos	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 La necesidad de una movilidad sostenible en las ciudades actuales	10
2.1.1 Los conceptos de movilidad, transporte y accesibilidad	10
2.1.2 La importancia de la sostenibilidad en la movilidad urbana	11
2.1.3 Las externalidades negativas del transporte urbano	13
2.2 La esfera social de la movilidad sostenible	15
2.2.1 La importancia de la equidad en la movilidad y el transporte	15
2.2.2 La exclusión social y la pobreza asociada al transporte	20
2.3 Una ciudad accesible	24
2.3.1 Estructura y morfología urbana	24
2.3.2 Estrategias para conseguir la sostenibilidad de la movilidad urbana	26
2.4 El estudio de la accesibilidad espaciotemporal en transporte público	27
2.5 La evolución de la movilidad en el tiempo, el caso de Zaragoza.	33
2.5.1 Los antecedentes del transporte urbano	33
2.5.2 El desarrollo del transporte motorizado en Zaragoza y su entorno	35
CAPÍTULO 3. ÁREA DE ESTUDIO	39
3.1 Delimitación del área de estudio	39
3.2 Infraestructuras de transporte	45
3.3 Servicios de transporte público	47
3.3.1 Servicios de transporte público del entorno de Zaragoza	47
3.3.2 Servicios de transporte público de la ciudad de Zaragoza	50
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA Y DATOS	54
4.1 Fuentes de datos	55
4.1.1 Datos de transporte público	56
4.1.2 Datos de tráfico privado	56
4.1.3 Datos de infraestructuras viarias	58
4.1.4 Datos sociodemográficos de la población del área de estudio	59
4.2 Tratamiento de datos	60
4.2.1 La especificación de datos GTFS estática	60
4.2.2 Generación de la base de datos de transporte público	67

4.2.3	Procesamiento de datos de tráfico vehicular privado	71
4.2.4	Creación y corrección topológica de la red motorizada	72
4.3	Limitaciones de los datos	79
4.4	Metodología	80
4.4.1	Cálculo de la componente temporal de la accesibilidad en transporte público	80
4.4.2	Cálculo del índice de calidad de acceso en transporte público	84
4.4.3	Cálculo de las disparidades en la accesibilidad entre el transporte colectivo y el vehículo privado	87

CAPÍTULO 5. ACCESIBILIDAD AL TRANSPORTE PÚBLICO EN ZARAGOZA: VARIABILIDAD ESPACIOTEMPORAL, FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y COMPARACIÓN CON EL TRANSPORTE PRIVADO

91

5.1	Distribución espacial de la accesibilidad en transporte público atendiendo a la naturaleza dinámica del mismo	91
5.1.1	Accesibilidad en transporte público a 15 minutos	92
5.1.2	Accesibilidad en transporte público a 30 minutos	95
5.1.3	Accesibilidad en transporte público a 1 hora	96
5.1.4	Accesibilidad en transporte público a 1 hora y media	98
5.1.5	Accesibilidad en transporte público a 2 horas	101
5.1.6	Clasificación de calidad en función de la accesibilidad en transporte público	103
5.2	Características sociodemográficas de la población en función del nivel de accesibilidad en transporte público	106
5.2.1	Distribución entre la masa poblacional y la accesibilidad en transporte público	106
5.2.2	Distribución entre las características sociodemográficas de la población y la accesibilidad en transporte público.	110
5.2.3	Relación entre las características sociodemográficas de la población y el índice de calidad de acceso.	121
5.3	Accesibilidad en transporte público a los servicios sanitarios y la educación superior	125
5.3.1	Accesibilidad a los centros de salud	125
5.3.2	Accesibilidad en transporte público a hospitales	130
5.3.3	Accesibilidad en transporte público a la educación superior	133
5.4	Análisis comparativo de las diferencias de accesibilidad entre el transporte privado y el transporte público	138
5.4.1	Tiempo de viaje en vehículo privado	139
5.4.2	Tiempo de viaje en transporte público	142
5.4.3	Comparación de las diferencias en los tiempos de viaje entre el vehículo privado y el transporte público	144

CAPÍTULO 6. HACIA UNA RED DE TRANSPORTE SOSTENIBLE E INCLUSIVA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE ZARAGOZA: PROPUESTAS DE PLANIFICACIÓN DIRIGIDAS A LA MEJORA DEL TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO

149

6.1	Las diferencias en los patrones de variación espaciotemporal de la accesibilidad entre el automóvil y el transporte público	149
6.2	La relación entre la calidad del servicio de transporte y la accesibilidad	151
6.3	Los fuertes contrastes en el acceso de la población vulnerable al transporte público entre la ciudad de Zaragoza y su área metropolitana	155

6.4	Acceso equitativo en transporte público para la mayor parte de la población vulnerable a los servicios esenciales: sanidad y educación	159
6.5	Las desigualdades en la accesibilidad del colectivo no motorizado frente al motorizado	164
6.6	Propuestas de planificación encaminadas al diseño de una red de transporte sostenible e inclusiva para Zaragoza	166
6.6.1	Propuestas de mejora del sistema de transporte público de la ciudad de Zaragoza	166
6.6.2	Propuestas de mejora del sistema de transporte público del entorno de Zaragoza	169
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES		174
CAPÍTULO 8. REFERENCIAS		178
APÉNDICE A TIPOLOGÍA Y FRECUENCIAS DE LAS LÍNEAS DE TRANSPORTE URBANO		1
APÉNDICE B PROGRAMAS DESARROLLADOS EN PYTHON PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE TRANSPORTE PÚBLICO		3
APÉNDICE C PROGRAMA DESARROLLADO EN PYTHON PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE TRÁFICO		8

Lista de Tablas

Tabla 3.1: Ejes del área metropolitana de Zaragoza	44
Tabla 3.2: Coronas del área metropolitana de Zaragoza	45
Tabla 3.3: Líneas del Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza.....	49
Tabla 3.4: Principales características de las líneas de autobús urbano según tipología.....	53
Tabla 4.1. Principales fuentes de datos de la investigación.	55
Tabla 4.2: Estructura del objeto de consulta al servicio matriz de distancia.	57
Tabla 4.3: Estructura del objeto respuesta del servicio matriz de distancia.....	57
Tabla 4.4: Campos de la base de datos de transporte público (I).....	64
Tabla 4.5: Campos de la base de datos de transporte público (II).	65
Tabla 4.6: Campos de la base de datos de transporte público (III)	66
Tabla 4.7: Número de registros para cada archivo de la base de datos de transporte público	71
Tabla 4.8: Elementos del grafo de red de transporte del CNIG	73
Tabla 4.9: Elementos obtenidos de OpenStreetMap	74
Tabla 4.10: Reclasificación de atributos procedentes de OSM.....	75
Tabla 4.11: Elementos del modelo de datos de transporte público.....	80
Tabla 4.12: Puntuación según umbrales de tiempo para el índice de calidad de acceso. ...	85
Tabla 4.13: Clasificación del índice de calidad de acceso (ICA).....	87
Tabla 4.14: Velocidad en función del tipo de vía.	88
Tabla 5.1: Población con servicio de transporte público según umbrales de tiempo.....	107
Tabla 5.2: Características sociodemográficas de la población del municipio de Zaragoza según accesibilidad al centro de la ciudad.	121
Tabla 5.3: Características sociodemográficas de la población del área metropolitana de Zaragoza según accesibilidad al centro de la ciudad.....	123
Tabla 5.4: Accesibilidad en transporte público a los centros de salud.....	126
Tabla 5.5: Accesibilidad en transporte público a los hospitales.	131
Tabla 5.6: Accesibilidad en transporte público al Campus de San Francisco de la Universidad de Zaragoza.....	134
Tabla 5.7: Accesibilidad en transporte público al Campus Río Ebro de la Universidad de Zaragoza.....	137
Tabla 5.8: Tiempos de viaje en vehículo particular.	141
Tabla 5.9: Tiempos de viaje en transporte público	143
Tabla 5.10: Diferencia de tiempos de viaje entre el vehículo particular y el transporte público	145
Tabla A.1: Líneas de transporte urbano diurno, tipología y frecuencias.	1
Tabla A.2: Principales características de las líneas de autobús urbano nocturne según tipología	2

Lista de Figuras

Figura 2.1: Estructura monocéntrica, policéntrica y dispersa.	24
Figura 2.2: Ciclo de deterioro del transporte público.....	34
Figura 3.1: Mapa de los municipios que integran el área de estudio.	40
Figura 3.2: Mapa de barrios de Zaragoza.....	41
Figura 3.3: Mapa esquemático de los municipios atendidos por el consorcio de transportes.	48
Figura 3.4: Mapa de líneas de autobús urbano de Zaragoza (2022).....	52
Figura 4.1. Diseño metodológico de la investigación	54
Figura 4.2: Estructura de la base de datos de transporte público	63
Figura 4.3: Proceso de corrección topológica	77
Figura 5.1: Porcentaje de tiempo que un espacio es accesible en transporte público.	93
Figura 5.2: Mapa de distribución del índice de calidad de acceso (ICA).....	104
Figura 5.3: Accesibilidad de la población según distintos umbrales de tiempo desde Plaza de España.....	108
Figura 5.4: Distribución de la tasa de feminidad según la accesibilidad en transporte público.	111
Figura 5.5: Distribución de la proporción de población joven según la accesibilidad en transporte público.	112
Figura 5.6: Distribución de la proporción de población adulta según la accesibilidad en transporte público.	114
Figura 5.7: Distribución de la proporción de personas de la tercera edad según la accesibilidad en transporte público.....	116
Figura 5.8: Distribución de la población extranjera según la accesibilidad en transporte público.	118
Figura 5.9: Distribución de la renta media personal según la accesibilidad en transporte público.	120
Figura 5.10: Mapa de calidad de acceso a servicios sanitarios y de educación superior ..	127
Figura 5.11: Comparación de las diferencias de accesibilidad entre medios.	140

Introducción

La movilidad se puede definir como la capacidad o facultad que posee una persona o grupo social para desplazarse en el territorio (Gutiérrez, 2012). Este desplazamiento puede ser resultado de una diversidad de razones, como laborales, educativas, comerciales o recreativas, entre otras.

Desde la publicación del informe Brundtland (1987) la noción de sostenibilidad ha surgido como un marco conceptual fundamental en diversos ámbitos (Miralles-Guasch & Cebollada, 2009). Este informe estableció el concepto de desarrollo sostenible como “aquél que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. La comprensión elemental de sostenibilidad se ha ampliado para abarcar tres ideas primordiales: equidad social, eficiencia económica y responsabilidad medioambiental (Rodríguez et al., 2013).

Este cambio de paradigma hacia la sostenibilidad también ha afectado a la movilidad (Banister, 2008). De hecho, la meta 11.2 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas solicita expresamente el fomento de un transporte sostenible para todos (Organización Naciones Unidas, 2021, pp. 95-96).

En este contexto, la movilidad sostenible se puede definir como “aquella que se satisface con un tiempo y coste razonables y que minimiza los efectos negativos sobre el entorno y la calidad de vida de las personas”(Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004). Las formas más sostenibles de movilidad incluyen el transporte público y los modos activos debido a su menor consumo de espacio y energía (Nikulina et al., 2019, p. 29) .

La problemática de la movilidad en la actualidad surge de una política urbana que ha promovido, a lo largo de varias décadas, la expansión del uso generalizado del automóvil en la mayoría de las ciudades (Escudero, 2013, p. 214). En respuesta a esta problemática, las políticas actuales tienen por objeto el aumento de la accesibilidad en lugar de la movilidad.

La accesibilidad indica “la facilidad con que los miembros de una comunidad pueden salvar la distancia que les separa de los lugares en los que pueden hallar los medios de satisfacer sus necesidades” (Mataix González, 2010). Por ende, la accesibilidad determina las oportunidades humanas, ya sea en términos de empleo, interacción económica o social, acceso a bienes o uso de recursos sociales o económicos. (Stępniaak & Goliszek, 2017).

La accesibilidad al transporte público constituye un tema de gran relevancia tanto para la comunidad académica como para los responsables de la formulación de políticas de transporte debido a su impacto en la inclusión social y la equidad del colectivo no motorizado. Este grupo demográfico, se compone de todos aquellos individuos que, por diversas razones, no pueden viajar en automóvil particular de forma autónoma. Esta dependencia limita su accesibilidad a determinados espacios y en ciertos horarios, lo que constituye una barrera significativa para su participación plena en la sociedad.

La accesibilidad al transporte público exhibe notables fluctuaciones, tanto en su dimensión espacial como temporal, las cuales están estrechamente ligadas al tipo de servicio ofrecido. Por consiguiente, resulta crucial desarrollar medidas que aborden estas variaciones en los análisis. Sin embargo, las técnicas para evaluar la accesibilidad espaciotemporal en el transporte público han recibido escasa atención en la literatura científica (Farber et al., 2014). La implementación del estándar de datos General Transit Feed Specification (GTFS) ha facilitado el análisis de estas variaciones (Rodnyansky, 2018) lo que ha dado lugar a una nueva línea de investigación en este ámbito durante los últimos años (Stępniaak & Goliszek, 2017, p. 241).

En este contexto, han surgido algunos estudios con el propósito de evaluar las variaciones temporales de la accesibilidad en el transporte público y su impacto social en el acceso a empleos y servicios (Farber et al., 2014; Fransen et al., 2015; Stępniaak & Goliszek, 2017). En consonancia con esta línea de investigación, el presente estudio tiene como objetivo principal examinar el grado de accesibilidad proporcionado por el sistema de transporte público en el área metropolitana de Zaragoza a su población, considerando sus características sociodemográficas.

Este objetivo se establece para el área metropolitana de Zaragoza debido a su configuración caracterizada por una notable dicotomía entre un núcleo urbano compacto, y un entorno metropolitano con una densidad poblacional relativamente baja. En consecuencia, las redes de transporte público de este ámbito son muy dispares. Mientras que la ciudad de Zaragoza cuenta con una red de transporte público bien consolidada, la red metropolitana se encuentra ante desafíos como, la gran variabilidad en la cantidad de servicios en función de la línea, largos tiempos de espera entre frecuencias, horarios poco regulares y falta de coordinación con otras redes de transporte. Todas estas dificultades contribuyen a los problemas de accesibilidad experimentados por el colectivo no motorizado, lo cual justifica la necesidad de llevar a cabo estudios al respecto.

Las fuentes de información empleadas para este propósito comprenden: las diversas entidades empresariales que operan en el área de Zaragoza, de las cuales se obtienen los datos de todas las expediciones de transporte público; la interfaz de programación de aplicaciones (API) JavaScript de Google, que proporciona datos sobre el tráfico privado; así como el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y OpenStreetMaps, de donde se extrae la información geográfica relacionada con las infraestructuras viarias.

A partir de los datos de transporte público se construye una base de datos propia siguiendo las especificaciones del formato GTFS. Para el análisis del tráfico privado se genera una matriz origen-destino utilizando para ello un programa desarrollado en Python. Respecto a las infraestructuras viarias se lleva a cabo un proceso de corrección topológica y para posteriormente configurar una red de transporte dentro de un Sistema de Información Geográfica.

Posteriormente se ejecutan diversos procedimientos analíticos. El primero de ellos consiste en calcular el porcentaje de tiempo en el que un área es accesible desde el centro de Zaragoza para varios umbrales temporales. El segundo implica la creación de un índice de calidad de acceso que combina el mencionado porcentaje de tiempo con la duración del trayecto hasta dicho espacio. Este segundo análisis, se lleva a cabo tanto para el centro de Zaragoza, como para varios equipamientos, tales como centros de salud, hospitales y campus universitarios. En tercer lugar, se efectúan cálculos de tiempo de viaje promedio hasta el centro de Zaragoza tanto en vehículo particular como en transporte público, y se determinan las diferencias entre ambos.

Los resultados muestran una clara disparidad en los niveles de accesibilidad entre la ciudad de Zaragoza y su área metropolitana. Esto implica que la población urbana disfruta de un acceso adecuado tanto al centro de Zaragoza, donde se concentra la mayor parte de los empleos, como a los servicios sanitarios y educativos. En contraste, parte de la población metropolitana enfrenta niveles deficientes de accesibilidad. Además, en toda el área de estudio la accesibilidad del colectivo no motorizado es inferior a la del colectivo motorizado alcanzándose las mayores diferencias en la segunda corona metropolitana.

La estructura de esta investigación consta de 8 capítulos, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: El Capítulo 1 se dedica a exponer el problema, las cuestiones de investigación y los objetivos planteados. El Capítulo 2 examina el marco teórico que sustenta esta investigación centrándose en la dimensión social de la movilidad sostenible

El Capítulo 3 detalla las características del área de estudio, haciendo hincapié en el marcado contraste entre la ciudad de Zaragoza y su entorno metropolitano. El Capítulo 4 describe el procesamiento de datos, así como la metodología empleada para conseguir una medición que sea capaz de capturar las variaciones temporales de la accesibilidad en transporte público. El Capítulo 5 presenta los resultados derivados del estudio sobre la distribución espacial de la accesibilidad hacia el centro de Zaragoza, así como hacia los servicios sanitarios y de educación superior. Además, se examina su impacto en la población en general y en los grupos vulnerables, así como las disparidades existentes en la misma entre el colectivo motorizado y el no motorizado. Por su parte, el Capítulo 6 se dedica a la discusión de los hallazgos encontrados, abordando sus implicaciones para la población no motorizada, identificando las características del servicio de transporte público que tienen un impacto significativo en la accesibilidad, y proponiendo medidas para mejora y equilibrar el nivel de acceso en el área de estudio. El Capítulo 7 resume las conclusiones obtenidas en esta investigación y, finalmente, el Capítulo 8 recopila la bibliografía utilizada.

Capítulo 1. Planteamiento del Problema, Cuestiones de Investigación y Objetivos

1.1 Planteamiento del problema

La principal problemática desde el punto de vista social de la movilidad es el hecho de que la disponibilidad o no de vehículo privado para los desplazamientos personales segmenta a la sociedad actual en dos grupos con niveles de accesibilidad territorial muy dispares. Por un lado, se encuentra el colectivo motorizado, compuesto por individuos que tienen acceso a un vehículo privado y disfrutan de una gran libertad en sus desplazamientos. En contraste, el colectivo no motorizado está formado por aquellas personas que no pueden disponer de un vehículo para sus desplazamientos habituales. Como consecuencia, este último grupo depende del transporte público y de los medios activos, como caminar o ir en bicicleta, para desplazarse. Esta situación restringe su acceso a su entorno cercano o a áreas cubiertas por el sistema de transporte público, y solo en momentos del día en que existan servicios de conexión disponibles.

Existe un amplio colectivo de individuos con un acceso limitado o nulo al automóvil. Este colectivo está integrado principalmente por: ancianos, niños, jóvenes, personas con discapacidad, población con dificultades lingüísticas (como es el caso de algunos inmigrantes recién llegados) o ciudadanos con ingresos bajos, entre otros. (Stanley & Stanley, 2017). Además, este grupo presenta una proporción mayor de mujeres. Es importante destacar que el proceso de envejecimiento demográfico está resultando en un aumento en la cantidad de personas que no pueden conducir automóviles o desplazarse en bicicleta (Di Ciommo & Shiftan, 2017) por lo que el número de individuos que integran este colectivo va en aumento.

La distribución de las redes de transporte y el uso del suelo en una región nunca podrán ser uniformes espacialmente, lo que resulta en niveles desiguales de acceso a los servicios de transporte y a diversos destinos de actividades. Cuando estas disparidades constituyen barreras significativas para viajar, pueden limitar la participación en actividades diarias y, en algunos casos, llevar a la exclusión social relacionada con el transporte (Allen & Farber, 2020; Lucas, 2012; Martens, 2016).

Esta desigualdad puede observarse en el área de estudio que se caracteriza por un marcado contraste entre la ciudad de Zaragoza, que posee una alta compacidad y densidad de población (693 hab/km²), y el entorno metropolitano, con una densidad demográfica propia de ámbitos rurales (50 hab/km²). Como resultado, el sistema de transporte público muestra una significativa dicotomía entre la red urbana de Zaragoza, la cual presenta una

estructura bien cohesionada y donde la problemática reside en la congestión o la velocidad comercial; y el entorno metropolitano, en el cual las dificultades para la prestación de un servicio de calidad son mayores.

Al operar en un espacio con una densidad de población reducida, el sistema de transporte metropolitana exhibe líneas con un número de frecuencias diarias limitado y una estructura notablemente radial. Además, la falta de coordinación horaria entre los servicios de distintas compañías dificulta los trasbordos (Loscertales Palomar et al., 2015). Una dificultad añadida es la falta de intermodalidad con los servicios ferroviarios debido a la nula sincronización de horarios y a las diferencias en la ubicación de estaciones y paradas de autobús.

Ante esta situación, el colectivo de población no motorizada experimenta una severa limitación en sus oportunidades de viaje, mermando su participación en actividades esenciales como el trabajo o el acceso a los servicios. Este déficit de accesibilidad se conoce como pobreza del transporte (Allen & Farber, 2020) y contribuye significativamente a una mayor vulnerabilidad a la exclusión social.

Aquellas personas que sufren situaciones de pobreza relacionadas con el transporte como, por ejemplo, un servicio limitado de transporte público o no tener acceso regular a un vehículo privado, pueden ver exacerbadas otras formas de privación social, como salarios bajos, desempleo elevado o problemas de salud, lo que resulta en una situación de exclusión social (Allen & Farber, 2020; Lucas et al., 2016; Preston & Rajé, 2007).

El transporte en áreas de baja densidad de población depende en gran medida del automóvil, y este desempeña un papel vital en el apoyo a la inclusión social en este entorno. En consecuencia, la población no motorizada que habita en estos espacios padece niveles elevados de pobreza asociada al transporte, presentando un mayor riesgo de exclusión social (Stanley & Stanley, 2017).

1.2 Cuestiones de investigación

A tenor de la problemática expuesta se proponen para esta investigación una serie de interrogantes a resolver que pasamos a detallar a continuación.

Hipótesis 1: La accesibilidad en transporte público en la corona metropolitana de Zaragoza es insuficiente para asegurar un acceso adecuado y continuo al centro de la ciudad.

Se realiza esta afirmación sustentada en el siguiente hecho: El área urbana de Zaragoza cuenta con una estructura demográfica muy concentrada en la ciudad central, lo que da lugar a una corona metropolitana con un escaso peso, donde los servicios de transporte público no están bien desarrollados a pesar de las mejoras recientes.

Hipótesis 2: La mayoría de la población reside en áreas con buena accesibilidad en transporte público.

Esta hipótesis se basa en que el sistema de transporte público urbano de la ciudad de Zaragoza está bien desarrollado, y al ser este el lugar que concentra a la mayor parte de la población, los resultados globales son buenos.

Hipótesis 3: Las áreas con peores niveles de accesibilidad se corresponden con lugares habitados por población vulnerable.

Esta tercera hipótesis se fundamenta en el hecho de que aquellos espacios que posean un menor nivel de accesibilidad, ya sea por su situación periférica o por poseer una peor dotación de servicios de transporte público y de otros servicios públicos, serán habitados por personas con menores niveles de rentas o un porcentaje relativamente elevado de extranjeros al tratarse de zonas más económicas para establecerse. Si bien, existen otros condicionantes además de estos que abaratan el precio de la vivienda, como puede ser su antigüedad, superficie o estado. Por este hecho, existen también importantes niveles de población vulnerable, incluyendo en este caso también a población envejecida, en barrios tradicionales o en amplios sectores del casco histórico de Zaragoza, lo que da pie a proponer la siguiente hipótesis.

Hipótesis 4: La mayor parte de la población vulnerable tiene un acceso adecuado a la sanidad y la educación en transporte público.

Esta hipótesis se fundamenta en que, al tratarse la sanidad y la educación de servicios básicos, estos tendrán una accesibilidad adecuada y suficiente en aquellos desplazamientos que se realicen en transporte público. Esto es así, ya que, por un lado, se espera que la red de centros sanitarios y educativos sea adecuada y tenga una distribución equitativa en el territorio, especialmente en el caso de los centros de salud. Por otro lado, al disponer el área de estudio de un sistema de transporte con cierta madurez se presupone que este será capaz de brindar a la población general unos buenos niveles de accesibilidad a los servicios públicos, y que estos serán suficientes para aquellas personas en situación de vulnerabilidad. Una tercera razón, es la elevada concentración de la población del área

metropolitana en la ciudad de Zaragoza donde se encuentran espacios como los barrios tradicionales o el casco histórico que acogen a una gran proporción de población vulnerable.

Hipótesis 5: La accesibilidad del colectivo no motorizado es menor que la del motorizado, y que estas disparidades son más acentuadas en el entorno metropolitano.

En la formulación de esta premisa por colectivo motorizado nos referimos a aquel que dispone de capacidad para desplazarse en automóvil de forma independiente. En cambio, el colectivo no motorizado, se reconoce como aquel que no dispone de este medio de transporte de manera independiente.

La fundamentación de esta hipótesis radica en el hecho de que el uso del vehículo privado proporciona una mayor autonomía a sus usuarios al ofrecerles una libertad considerable sin estar sujetos a horarios predefinidos, paradas ni rutas específicas. En consecuencia, alcanzar cualquier ubicación dentro del área de estudio será significativamente más fácil para este colectivo. Sin embargo, cabe especificar que se entiende que es en el área metropolitana por tener un servicio de transporte menos frecuente donde esas diferencias son mayores y donde realmente suponen una desventaja para la movilidad de la población no motorizada.

1.3 Objetivos

El objetivo general de la tesis doctoral es analizar el grado de accesibilidad proporcionado por el sistema de transporte público del área metropolitana de Zaragoza a su población, considerando sus características sociodemográficas.

Los objetivos específicos son:

- OE1. Utilizar una medida de la accesibilidad que recoja la naturaleza dinámica de los servicios de transporte público.
- OE2. Estudiar cómo se distribuye la accesibilidad espacial en transporte público a lo largo y ancho del territorio del área metropolitana de Zaragoza.
- OE3. Conocer las características sociodemográficas de la población en función del nivel de accesibilidad en transporte público desde sus domicilios.

OE4. Conocer el nivel de accesibilidad en transporte público de los grupos más vulnerables a la educación y la sanidad.

OE5. Analizar las diferencias en el grado de accesibilidad entre el colectivo de población motorizada y no motorizada.

OE6. Proponer y valorar medidas encaminadas a mejorar la accesibilidad y reforzar la sostenibilidad e inclusión de la movilidad en el área metropolitana de Zaragoza.

Los resultados esperados para estos objetivos son los siguientes:

- La cartografía detallada con la accesibilidad en transporte público desde cualquier parte del área metropolitana de Zaragoza para diferentes umbrales de tiempo.
- La descripción de las características sociodemográficas de las personas que se encuentran en los lugares con mejores y peores niveles de accesibilidad.
- La cartografía detallada con la accesibilidad en transporte privado para este mismo espacio.
- El conocimiento de las diferencias entre los niveles de accesibilidad del colectivo motorizado y el no motorizado.
- Una reflexión sobre la dirección en la que debería ir un modelo de movilidad más inclusivo en el futuro.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 La necesidad de una movilidad sostenible en las ciudades actuales

2.1.1 Los conceptos de movilidad, transporte y accesibilidad

La movilidad se puede definir como la capacidad o posibilidad que una persona o grupo social tiene de desplazarse en el territorio (Gutiérrez, 2012). En consecuencia, el término abarca al conjunto de desplazamientos que se producen en un entorno físico determinado (Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004) y sus efectos.

Es relevante destacar que esta capacidad de desplazamiento “no tiene sólo una dimensión individual sino también colectiva (Ciuffini, 1993)” en (Miralles-Guasch & Cebollada, 2009).

La movilidad puede darse como respuesta a una gran variedad de motivos. Entre los motivos más frecuentes que incitan a las personas a moverse se incluyen los relacionados con el trabajo, la educación, la familia, el tiempo libre, las compras o el acceso a servicios básicos, como los de atención médica.

Las ciencias sociales destacan una amplia gama de movilidades, como la migración, el turismo, la movilidad residencial y la cotidiana. Todas ellas han tenido un impacto significativo en la configuración de la vida moderna. Este fenómeno es crucial para comprender los procesos urbanos actuales. (Jirón, 2013, p. 203)

Por otra parte, podemos definir el transporte como “el sistema de medios mecánicos que se emplea para trasladar personas y mercancía”, (Mataix González, 2010, p. 13). Por lo tanto, el transporte queda integrado únicamente por los medios motorizados como el vehículo particular o el transporte público dejando fuera los medios activos como caminar o ir en bicicleta, los cuales sí están considerados dentro del concepto de movilidad. Por lo tanto, la movilidad se concibe como un término mucho más amplio que transporte, siendo el transporte sólo un medio para facilitar la movilidad (Mataix González, 2010; Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004).

En este contexto el concepto de movilidad abarca diversas modalidades de desplazamiento, englobando tanto a individuos como a objetos móviles en su conjunto, mientras que, el transporte se centra exclusivamente en los traslados de índole mecánica, es decir, aquellos realizados mediante medios motorizados dejando de lado los modos activos como la marcha a pie o el uso de bicicletas. Este enfoque limitado omite considerar a uno

de los sectores sociales más significativos y numerosos: los peatones (Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004).

“La complejidad de la movilidad radica en el hecho de que esta, además de incorporar las problemáticas del transporte, incluye y determina las problemáticas asociadas a la organización de la vida diaria de las personas (la sociedad) y la estructuración de la ciudad” (Escudero, 2013, p. 213). “La noción de movilidad, supera a la de desplazamiento, por el hecho que esta considera las causalidades y las consecuencias vinculadas a los desplazamientos” Reichman (1983, como se citó en Escudero, 2013)

Finalmente, la Accesibilidad “es un concepto vinculado a los lugares. Indica la facilidad con que los miembros de una comunidad pueden salvar la distancia que les separa de los lugares en los que pueden hallar los medios de satisfacer sus necesidades” (Mataix González, 2010).

Por consiguiente, la accesibilidad determina las oportunidades humanas, ya sea para el empleo, la interacción económica o social, el acceso a bienes o el uso de recursos sociales o económicos. La disparidad en el nivel de accesibilidad genera variaciones en las oportunidades (Stępnia & Goliszek, 2017).

En lo referente a la relación entre el concepto de accesibilidad y movilidad, la accesibilidad emerge como el propósito primordial que la movilidad busca alcanzar utilizando para ello los distintos medios de transporte.(Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004) .

Teniendo en cuenta su importancia, la accesibilidad aparece como un factor crucial en la planificación y estructuración de los sistemas de transporte, dado su efecto directo en el bienestar y la calidad de vida de los individuos.

2.1.2 La importancia de la sostenibilidad en la movilidad urbana

El tránsito del siglo XX al XXI ha presenciado un cambio significativo, con la transición de la Modernidad que dominó el pensamiento del siglo pasado, hacia el paradigma de la Sostenibilidad. Este cambio se ha gestado gradualmente desde las últimas décadas del siglo anterior, y ha adquirido relevancia especialmente desde la publicación del Informe Brundtland en 1987 (Miralles-Guasch & Cebollada, 2009, pp. 2-3). Este informe define el desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas propias.

Desde entonces la sostenibilidad ha emergido como un marco conceptual transversal en diversas esferas, tanto en el ámbito académico como en el político. Desde esta nueva perspectiva, se abordan los análisis y las estrategias de intervención en materia de movilidad y transporte, destacando sus implicaciones medioambientales. Este enfoque se caracteriza por su consideración tanto de las repercusiones locales, tales como la contaminación atmosférica y acústica, la congestión o la siniestralidad, así como de las dimensiones globales, como el cambio climático, la biodiversidad y la limitación de los recursos naturales (Miralles-Guasch & Cebollada, 2009, pp. 2-3).

Según Rodrigue et al. (2013, p. 270) el desarrollo sostenible es un concepto complejo que ha sido objeto de numerosas interpretaciones. Una sociedad sostenible es aquella que favorece condiciones que benefician al medio ambiente, la economía y la sociedad sin comprometer el bienestar de las futuras generaciones. Argumenta también que la historia demuestra claramente que las condiciones de las sociedades futuras dependerán en gran medida del legado de las sociedades actuales en cuanto a recursos y medio ambiente. Por esta razón, todos los activos transferidos a las generaciones venideras, ya sean de capital, bienes raíces, infraestructuras o recursos, deberían ser al menos de igual valor per cápita.

El autor explica que la definición básica de sostenibilidad se ha ampliado para incluir tres conceptos principales: equidad social, eficiencia económica y responsabilidad medioambiental. En consecuencia, la sostenibilidad es un concepto con una triple dimensión ambiental, económica y social.

Este cambio de paradigma hacia la sostenibilidad también ha afectado a la movilidad (Banister, 2008). “La movilidad sostenible se define como la movilidad que se satisface con un tiempo y coste razonables y que minimiza los efectos negativos sobre el entorno y la calidad de vida de las personas” (Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004). Por lo tanto, las formas más sostenibles dado su menor consumo de espacio y energía son el transporte público y los medios activos tales como caminar o circular en bicicleta (Nikulina et al., 2019, p. 29) .

La movilidad urbana se puede definir como “la suma de desplazamientos de personas, de bienes, de informaciones y todos los efectos que estos desplazamientos producen en (i) la organización de nuestra sociedad (modos de vida de las personas, desarrollo económico de una ciudad y otros) y (ii) en la estructuración de la ciudad

(extensión y transformaciones morfológicas de las ciudades, accesibilidad a servicios y equipamientos urbanos, entre otros” (Escudero, 2013, p. 212).

“La problemática de la movilidad actual se centra sobre todo en una política urbana que ha favorecido, durante varias décadas, el desarrollo del uso masivo del automóvil en la mayoría de las ciudades” (Escudero, 2004, pg 214).

2.1.3 Las externalidades negativas del transporte urbano

La movilidad intrínsecamente no puede ser categorizada como positiva o negativa. Su valoración debe de estar siempre está sujeta a los impactos que genere en la calidad de vida de los individuos (Jirón, 2013). La movilidad en vehículo particular en entornos urbanos genera una gran cantidad de efectos perjudiciales para la sociedad. Estos efectos se conocen como externalidades negativas, dado que representan costos generados para terceros que no son percibidos por quienes los originan (Coeymans Avaria, 2004). Según Rodrigue y la Estrategia Española de Movilidad Sostenible (Ministerio de Fomento & Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009), el transporte urbano conlleva diversas externalidades negativas tales como la contaminación atmosférica, contaminación acústica, emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de energía, siniestralidad, congestión, ocupación del espacio y fragmentación del mismo.

La contaminación atmosférica: el transporte motorizado contribuye con más del 25% de las emisiones totales de gases de España. Estas emisiones son producto de la combustión de combustibles fósiles en los motores de los vehículos. Los principales contaminantes son el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno (NOx), así como otros contaminantes que actúan como precursores del ozono troposférico, sustancias acidificantes, partículas y aerosoles, entre otros. Por ello, las actividades de transporte tienen efectos significativos en la calidad del aire y la salud (Ministerio de Fomento & Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

La contaminación acústica: el ruido se define como el conjunto de sonidos irregulares y caóticos que inciden en la vida humana. Fundamentalmente, se refiere a cualquier sonido no deseado cuya intensidad se evalúa en decibelios (dB). El ruido ambiental originado por el tráfico vehicular, con un rango típico entre 45 y 65 dB, puede tener efectos adversos en el bienestar físico y psicológico de las personas, resultando en una disminución de su calidad de vida (Rodrigue et al., 2013).

La emisión de gases de efecto invernadero: la generación de contaminantes a la atmósfera por parte del sector del transporte, como el dióxido de carbono, contribuye al efecto invernadero y acelera el cambio climático. El transporte tiene un impacto significativo en el calentamiento global, representando, según Eurostat, el 23.5% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en los países de la Unión Europea (Nikulina et al., 2019). Entre los efectos del cambio climático sobre el medio ambiente y la sociedad se incluyen el aumento global de las temperaturas, el incremento del nivel del mar, el deshielo de los casquetes polares y una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos como huracanes, lluvias torrenciales, olas de calor y sequías severas (Rodrigue et al., 2013).

El consumo de energía: el transporte consume aproximadamente un tercio de la energía total a nivel mundial. Más del 90% de este consumo corresponde al petróleo y sus derivados, mientras que el gas natural representa alrededor del 4%, los biocombustibles un 3%, y solo el 1% restante proviene de la electricidad. El transporte se posiciona como un gran consumidor de energía no renovable (International Energy Agency, 2018).

La siniestralidad: representa sin duda el coste social más elevado provocado por el sector del transporte. Según datos de la Organización Mundial de la Salud del año 2016 una media de 1,25 millones de personas fallece al año por accidentes de tránsito en las carreteras de todo el mundo. Esta elevada cifra posiciona a las muertes relacionadas con el tráfico como la principal causa de mortalidad para personas de 15 a 29 años a nivel mundial (Sultana et al., 2019).

La congestión del tráfico: puede generar importantes pérdidas económicas debido al tiempo y combustible desperdiciado en los atascos. Según (cita la física de la congestión del tráfico), el coste de la congestión del tráfico en ciudades europeas se estima entre 15 y 50 horas al año. Desde el punto de vista ambiental, la congestión del tráfico contribuye a la contaminación del aire y el ruido, lo que puede tener efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente. En lo referente a la salud de la población, la congestión del tráfico puede provocar una disminución en la calidad de vida de los residentes de la ciudad, así como un aumento en los niveles de estrés y problemas de salud relacionados con la contaminación del aire y el ruido (Solé-Ribalta et al., 2017).

La ocupación del espacio: el vehículo privado es un gran consumidor de espacio por lo que la pérdida de espacio que produce en las ciudades es una de las externalidades

negativas más relevante en términos sociales. La mayoría de las carreteras son de propiedad pública y de acceso libre. Sin embargo, el creciente tráfico motorizado afecta adversamente a una variedad de actividades públicas que solían animar las calles, tales como el comercio, el entretenimiento, las reuniones vecinales e incluso los juegos de los niños. El flujo vehicular moldea de manera significativa la rutina diaria y las interacciones sociales de los habitantes, influyendo en el uso que hacen del espacio público. La congestión del tráfico entorpece las relaciones sociales y reduce la actividad callejera. En consecuencia, las personas tienden a reducir sus caminatas o paseos en bicicleta cuando hay congestión vehicular a la par que trasladan sus actividades a lugares alternativos como pueden ser los grandes centros comerciales (Rodrigue et al., 2013).

La fragmentación del espacio: las infraestructuras de transporte, además de requerir una considerable extensión de terreno, producen un efecto de barrera que obstaculiza la movilidad, divide comunidades y fragmenta los hábitats. Este fenómeno tiene repercusiones sociales y ambientales. Desde el punto de vista social, dificulta sobremanera las interacciones entre diferentes barrios y aumenta el riesgo de exclusión social. Desde una perspectiva ambiental conlleva la fragmentación de los hábitats de especies animales y vegetales, pudiendo provocar la inviabilidad de ciertas poblaciones vegetales, así como un aumento de la mortalidad por atropellos en las poblaciones animales (Ministerio de Fomento & Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

2.2 La esfera social de la movilidad sostenible

Una cantidad significativa de investigaciones ha enfocado su atención de manera exclusiva en los aspectos ambientales del transporte. Sin embargo, en años recientes, un número creciente de estudios sobre movilidad sostenible ha comenzado a considerar los aspectos sociales asociados al concepto de sostenibilidad. En este contexto, la noción de sostenibilidad abarca también el principio de equidad (Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004).

2.2.1 La importancia de la equidad en la movilidad y el transporte

Equidad e inequidad en el transporte

La equidad social generalmente se refiere a la justicia con la que se distribuyen los costos y beneficios de un recurso, como el transporte, entre un grupo de personas (Allen & Farber, 2020; Litman, 2002; Pereira et al., 2017). En consecuencia, la equidad en el transporte se define como la justicia con la que se distribuyen los beneficios y costos asociados al transporte (Sultana et al., 2019). Su objetivo radica en asegurar que todas las

personas, sin distinción de su posición social, económica o cultural, disfruten de un acceso equitativo a los servicios de transporte y obtengan beneficios proporcionales de los mismos. Un sistema de transporte equitativo debe de garantizar el mismo nivel de acceso, oportunidades y beneficios a todas las personas (Aparicio, 2023).

Según Di Ciommo & Shiftan (2017, p. 140) se pueden distinguir tres componentes clave de equidad en el transporte: (1) los beneficios y costos que el sistema de transporte distribuye; (2) los grupos de población sobre los cuales se distribuyen dichos beneficios y costos; y (3) el principio distributivo que determina si una distribución particular es moralmente adecuada y socialmente aceptable.

La equidad debería desempeñar un papel constitutivo en la provisión de transporte, de manera similar al papel que desempeña en la educación y la atención médica, donde las consideraciones de equidad forman parte de la toma de decisiones cotidiana (Di Ciommo & Shiftan, 2017, p. 140).

En contraposición, la inequidad en el transporte se manifiesta cuando los costos pagados por un grupo social determinado no son proporcionales a los beneficios obtenidos. Considerando únicamente los beneficios, la inequidad en el transporte ocurre cuando el sistema de transporte y uso del suelo de una ciudad proporciona diferentes niveles de acceso a distintos grupos. Esta inequidad puede llevar a la exclusión social (Lucas, 2012; Sultana et al., 2019, p. 6). Esto usualmente ocurre entre el colectivo de población que dispone de automóvil, colectivo motorizado, y el que depende del transporte público para trasladarse, colectivo no motorizado.

La inequidad en el transporte público debe abordarse a través de un enfoque que considere la distribución equitativa de recursos y oportunidades para todos los ciudadanos. Esto implica la identificación de desigualdades en el acceso al transporte público, como la falta de acceso a servicios de calidad, costes prohibitivos o limitaciones de tiempo y distancia, entre otros aspectos. Para abordar esta inequidad, es necesario considerar no solo la accesibilidad física, sino también la calidad del servicio, la satisfacción del usuario y la inclusión de grupos desfavorecidos, como personas con discapacidad o de edad avanzada, entre otros. Además, se destaca la importancia de considerar la equidad en el transporte público como un elemento integral de la sostenibilidad en las comunidades locales (Bokhari & Sharifi, 2022, pp. 6-7).

Los modos activos tales como caminar o la bicicleta, también pueden compensar los desequilibrios de los costes y beneficios asociados al transporte que se producen entre grupos con diferentes perfiles socioeconómicos (Di Ciommo & Shiftan, 2017; R. J. Lee et al., 2017).

La accesibilidad como meta de la equidad

Históricamente, la planificación del transporte se ha centrado en aumentar la movilidad, aliviar la congestión y reducir los impactos ambientales, a menudo sin considerar si las políticas fomentan directamente la participación generalizada y equitativa en una amplia gama de actividades diarias (Allen & Farber, 2020, p. 1). Sin embargo, en los últimos años, se ha evidenciado un aumento del interés académico en la interacción entre accesibilidad y exclusión, lo que ha llevado a una transformación en el enfoque de los estudios de transporte hacia una perspectiva más centrada en la equidad (Stępniaak & Goliszek, 2017, p. 142).

La literatura sobre equidad en el transporte indica que la movilidad es crucial, sin embargo, el objetivo último de la política y proyectos de transporte debería ser mejorar el acceso al transporte, como requisito previo para la accesibilidad a actividades clave o enfocarse directamente en la propia accesibilidad a actividades clave (Di Ciommo & Shiftan, 2017, p. 143). Dicho de otro modo, la prioridad en la búsqueda de la accesibilidad en el transporte debe de ser la accesibilidad y no la movilidad o el transporte.

En este sentido numerosos académicos concuerdan en que la equidad en el transporte no se obtiene a través de la realización de infraestructuras, sino en una distribución más efectiva de la capacidad para desplazarse hacia el trabajo y otras actividades sociales cruciales para el desarrollo personal y la supervivencia (Wan & Titheridge, 2024, p. 3).

El concepto de accesibilidad desempeña un papel fundamental al tratar temas de equidad y justicia distributiva en el ámbito del transporte por diversas razones. En primer lugar, este concepto facilita abordar preocupaciones sobre la distribución equitativa en el transporte, incluyendo la equidad en el acceso a lugares, actividades y oportunidades valiosas. Por otro lado, una buena accesibilidad es crucial para lograr niveles adecuados de igualdad de oportunidades en servicios como empleo, atención médica y educación, entre otros, lo cual es un aspecto esencial de la justicia distributiva (Pereira et al., 2017).

Los principios de la equidad en el transporte

En el ámbito de la equidad en el transporte, Sheller, (2018) enuncia una serie de principios de los cuales se consideran relevantes para esta investigación los siguientes:

- Los sistemas públicos de transporte no deben discriminar arbitrariamente el acceso a determinados grupos en comparación con otros mediante barreras físicas o la denegación de servicios basada en motivos como raza, género o capacidad.
- Las inversiones públicas en sistemas de transporte no deben proporcionar movilidad a ciertos grupos a expensas de imponer cargas indebidas, externalidades o restricciones a otros que no se benefician.
- Las ciudades deben asegurar la provisión equitativa de transporte público e infraestructura de comunicación mediante un análisis de beneficio social.
- Se deben implementar políticas de Calles Completas que promuevan una mayor atención al diseño de todos los modos de transporte y la accesibilidad, incluidos los modos no motorizados y el transporte público.

Las tres dimensiones de la equidad en el transporte

La equidad en el ámbito del transporte se presenta como un fenómeno de notable complejidad. La equidad desde la perspectiva de la accesibilidad existe y se basa en dos dimensiones principales: la vertical y la horizontal (Litman, 2002; Stępniaak & Goliszek, 2017). La dimensión vertical se centra en las diferencias entre individuos, incluyendo su estatus social y económico, así como su movilidad. La dimensión horizontal asume que ninguna persona debería ser desfavorecida, sin importar quiénes sean o dónde vivan, subrayando la importancia de una distribución uniforme de los niveles de accesibilidad en el espacio. Otra dimensión de la equidad, que se investiga en relación con la accesibilidad, es la equidad modal, es decir, la comparación entre la accesibilidad en vehículo privado y en transporte público. La magnitud de las disparidades en los niveles de accesibilidad entre ambos modos de transporte, denominadas "brechas de transporte público", resultan en niveles más altos de desigualdad (Stępniaak & Goliszek, 2017, pp. 243-244).

Aparte de la dimensión espacial (identificada con la horizontal) y la dimensión socio-demográfica (relacionada con la vertical), la tercera dimensión, temporal, está comenzando a atraer más atención, y este hecho puede vincularse con la creciente

disponibilidad de datos en tiempo real sobre el tráfico (Stępnia & Goliszek, 2017, pp. 243-244).

La asequibilidad un componente esencial de la equidad

Además de la accesibilidad, un componente crucial de la equidad en el transporte es su asequibilidad, la cual debe ser considerada en la formulación de políticas de transporte público orientadas a promover la equidad social. Un indicador comúnmente empleado para evaluar la asequibilidad del transporte es el gasto realizado por individuos o hogares para acceder y utilizar el sistema de transporte, en relación con sus ingresos mensuales o anuales (Di Ciommo & Shiftan, 2017, p. 144).

De hecho, el transporte constituye el segundo componente más significativo del gasto de los hogares en numerosos países, después de la vivienda, llegando a representar hasta un 15,8% del consumo total de los hogares en naciones como Canadá o Estados Unidos. En países donde la dependencia del automóvil es menor y donde los viajes públicos, informales y activos tienen un papel más relevante, el transporte representa una proporción menor del gasto familiar (Stanley & Stanley, 2017).

La asequibilidad del transporte constituye un desafío importante para muchos residentes urbanos tanto en el mundo desarrollado como en el mundo en desarrollo. Los hogares de bajos ingresos en el mundo desarrollado se encuentran en la disyuntiva entre luchar por costear la propiedad de un vehículo o luchar por el acceso al empleo y los servicios sin un automóvil. En gran parte del mundo en desarrollo, los residentes urbanos deben decidir entre luchar por pagar las tarifas de transporte público o desplazarse a pie (Sultana et al., 2019).

Los gastos asociados a la vivienda tienden a incrementarse en función de la accesibilidad. En un contexto donde las demás variables permanecen constantes, los costos relacionados con la vivienda y el transporte presentan tendencias opuestas en términos de distribución espacial dentro de una zona metropolitana. De esta forma, los hogares de escasos recursos pueden decidir habitar en áreas de la periferia urbana con el propósito de poder acceder así a una vivienda en propiedad. Sin embargo, posteriormente se enfrentarán a elevados costos de transporte (Sultana et al., 2019) por lo que tendrán que dedicar una proporción mayor de su renta disponible para sufragarlos. En este sentido las políticas de transporte orientadas a la asequibilidad cobran especial importancia para garantizar la accesibilidad y la equidad en el transporte.

Además, de la movilidad, la accesibilidad y la asequibilidad, existen otros determinantes de un sistema de transporte que afectan al bienestar comunitario o social. Entre ellos se encuentran, la conectividad, la seguridad, la calidad del aire o la contaminación acústica (Chidambaram, 2022).

2.2.2 La exclusión social y la pobreza asociada al transporte

Resulta irrazonable esperar que en lo que respecta al transporte específicamente este provea las mismas oportunidades en todo el espacio y para todos los grupos sociodemográficos. La distribución de las redes de transporte y el uso del suelo en una región nunca podrán ser uniformes espacialmente, lo que resulta en niveles desiguales de acceso a los servicios de transporte y a diversos destinos de actividades. Incluso si existiera un acceso equitativo a las oportunidades, las elecciones de viaje variarían entre individuos y grupos debido a sus distintas preferencias y estilos de vida. Es natural esperar ciertos niveles de desigualdad. Cuando estas disparidades constituyen barreras significativas para viajar, pueden limitar la participación en actividades diarias y, en algunos casos, llevar a la exclusión social relacionada con el transporte (Allen & Farber, 2020; Lucas, 2012; Martens, 2016).

La exclusión social se conceptualiza como la inhabilidad de determinados grupos para integrarse plenamente en los aspectos económicos y sociales de su entorno urbano (Sultana et al., 2019). Esta ocurre cuando las personas son impedidas de participar en actividades que son importantes para su sustento y bienestar. La reducción del riesgo de exclusión social suele citarse como un componente clave para producir una sociedad más justa. La literatura científica ha demostrado que aquellas personas que sufren desventajas en el transporte como, por ejemplo, un servicio limitado de transporte público o no tener acceso regular a un vehículo privado, puede agravarse con otros tipos de privaciones sociales, tales como, bajos salarios, una mayor tasa de desempleo, o problemas de salud que a su vez limitan la capacidad de la persona de desplazarse mediante modos activos, resultando en una situación de exclusión social (Allen & Farber, 2020; Lucas et al., 2016; Preston & Rajé, 2007).

Este efecto de agravamiento, a menudo llamado pobreza relacionada con el transporte, puede retroalimentarse empeorando las desventajas sociales y en materia de transporte experimentadas por el individuo, y por lo tanto también perpetuando los riesgos de exclusión social en el tiempo (Allen & Farber, 2020; Lucas, 2012).

Junto con el concepto de exclusión social, la pobreza relacionada con el transporte, pobreza de transporte o *transport poverty* en inglés, ha sido un término ampliamente citado en la literatura científica. Este tipo de pobreza se refiere específicamente a la inaccesibilidad causada por la falta de asequibilidad y/o capacidad para seleccionar ciertos modos de viaje (Allen & Farber, 2020). Sin embargo, es importante establecer que la pobreza en el transporte y la exclusión social relacionada con el transporte no son necesariamente sinónimos. Es posible estar socialmente excluido pero aún tener buen acceso al transporte, o estar desfavorecido en el transporte pero ser altamente incluido socialmente (Currie & Delbosc, 2010).

La distribución espacial de la exclusión social asociada al transporte

Los patrones de uso del suelo asociados con altos niveles de dependencia del automóvil han desfavorecido sistemáticamente a ciertos colectivos, pasando por alto sus necesidades de desplazamiento. El movimiento de la población de menor renta desde el centro de las ciudades hacia los nuevos desarrollos urbanos en la periferia e incluso hacia asentamientos periurbanos que ofrecen vivienda más asequible está en la base de una mayor exclusión social. Por sus menores costos, estas áreas periféricas albergan una mayor proporción de familias de reciente creación, primeros compradores de vivienda, personas de menores ingresos o familias monoparentales (Stanley & Stanley, 2017, p. 110).

Debido a esta dinámica, la distancia que separa los espacios residenciales de los estratos socioeconómicos de menor renta de los lugares donde se ofrecen las oportunidades laborales y los servicios se amplía paulatinamente. En este sentido, las personas en situación de pobreza se ven obligadas a utilizar medios de transporte motorizados para superar dichas distancias (Cebollada & Avellaneda, 2008).

La menor inversión en infraestructura de transporte y la escasa generación de empleo en estos entornos periféricos, que a menudo carecen de adecuadas conexiones de transporte público con los principales centros de actividad, constituyen un problema importante en términos de afianzar la inclusión social (Stanley & Stanley, 2017, p. 110).

Por otra parte, el transporte en áreas rurales depende en gran medida del automóvil, y este desempeña un papel vital en el apoyo a la inclusión social en este entorno. De ahí que la población rural padezca niveles más elevados de riesgo de exclusión social frente a la población urbana y metropolitana. En este sentido, el papel del transporte público regional en el apoyo a la inclusión social es notable. Generalmente los residentes de zonas rurales implementan diversas estrategias para hacer frente a la escasez de servicios de

transporte público local. Estas estrategias incluyen la adquisición de vehículos adicionales, la realización de desplazamientos a pie sobre largas distancias, la adquisición de bienes y servicios en establecimientos más costosos, el establecimiento de acuerdos de apoyo y reciprocidad con otros individuos, así como la adaptación o la omisión de algunas necesidades (Stanley & Stanley, 2017).

En conclusión, las zonas de menor densidad de población como las coronas exteriores de las áreas metropolitanas, y especialmente, los entornos rurales se postulan como los espacios con mayor exclusión social y pobreza asociada al transporte.

El colectivo no motorizado y la exclusión social

La literatura sobre los grupos de población más propensos a estar en riesgo de exclusión social debido a la escasez de oportunidades de movilidad suelen destacar a los siguientes colectivos: personas mayores, los jóvenes (especialmente los jóvenes que viven en entornos rurales), las personas con discapacidad, las personas con dificultades lingüísticas (por ejemplo, recién llegados), aquellos con ingresos bajos y aquellos con acceso limitado o nulo a un automóvil, con mujeres y padres solteros a veces también incluidos (Stanley & Stanley, 2017). Además, es importante tener en cuenta que el proceso de envejecimiento demográfico está generando un aumento en la cantidad de individuos que se encuentran incapacitados para conducir un automóvil o desplazarse en bicicleta (Di Ciommo & Shiftan, 2017).

La proporción de población sin acceso al automóvil varía en función de varios factores. El primero de ellos es la renta disponible, de este modo las personas y los hogares en los quintiles de ingresos más bajos tienen menos probabilidades de tener acceso a un vehículo privado. Otro determinante importante es la edad, tanto la juventud como las personas mayores presentan menores probabilidades de tener una licencia de conducir o de ser propietarias de un automóvil. Un tercer factor son las capacidades de las propias personas. Las enfermedades crónicas y los problemas de salud a largo plazo pueden limitar la movilidad y aumentar la exclusión social. La discapacidad presenta una mayor prevalencia conforme aumenta la edad. Sin embargo, la discapacidad física también afecta a grupos de edad más jóvenes y puede limitar severamente la capacidad de una persona para utilizar ciertos tipos de transporte y, por lo tanto, acceder a actividades clave (Di Ciommo & Shiftan, 2017, pp. 145-146).

Como consecuencia de su menor tasa de motorización, las personas mayores y aquellas con una discapacidad asociada experimentan una significativa reducción en la

frecuencia de sus desplazamientos, así como en la distancia recorrida, lo que se traduce en un acceso más limitado a servicios esenciales en comparación con la población en general (Lucas, 2012, p. 107).

Las políticas de transporte como instrumento para mejorar la equidad y la inclusión social

Según (Sultana et al., 2019), las políticas orientadas a fomentar la sostenibilidad del transporte pueden adoptar dos enfoques divergentes. Uno de ellos se centra en mejorar la sostenibilidad de los viajes utilizando los mismos modos de transporte, lo cual implica la aplicación de soluciones tecnológicas que aborden diversos aspectos, como la innovación, la inversión en infraestructura, la eficiencia energética, el empleo de combustibles alternativos, el control de la contaminación y la implementación de sistemas de transporte inteligentes.

El segundo enfoque, de naturaleza más amplia, contempla tanto el comportamiento de viaje de la población como los usos del suelo. Este enfoque reconoce que lograr una movilidad más sostenible requerirá una reconfiguración del entorno urbano para favorecer el acceso a modos de transporte más sostenibles. Así pues, las políticas e inversiones en transporte se orientarán hacia la modificación del lado de la demanda de los desplazamientos, interviniendo en el precio, tiempo, comodidad y conveniencia de las alternativas de transporte. Las estrategias de inversión en el entorno construido y el transporte pueden incidir en la sostenibilidad del transporte mediante acciones como la reducción de las distancias recorridas, la disminución de la frecuencia de los desplazamientos, el fomento de una mayor ocupación de vehículos y la promoción de modalidades no motorizadas. El autor ejemplifica este enfoque mediante medidas como el aumento de la densidad del tejido urbano, la diversificación de los usos del suelo, la mejora del acceso al empleo y al transporte público, el incremento de servicios en este último, la optimización de las condiciones para los ciclistas, así como la reducción de la disponibilidad de aparcamientos.

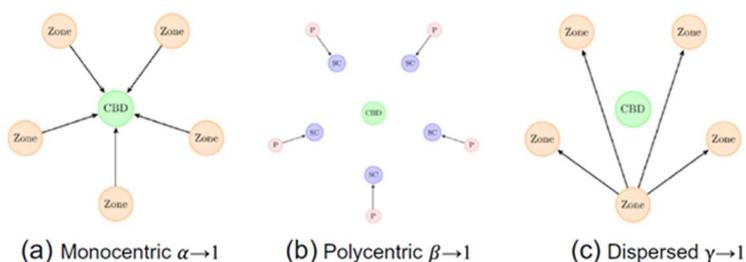
Este segundo tipo de políticas presentan hasta la fecha una mayor influencia sobre la equidad y la inclusión social de los colectivos más desfavorecidos respecto al transporte al presentar una mayor influencia sobre los usos del suelo y la ciudad. La organización geográfica del uso del suelo en nuestras ciudades puede promover la equidad social o conducir a la exclusión social para grupos desfavorecidos (Curtis, 2008).

2.3 Una ciudad accesible

2.3.1 Estructura y morfología urbana

La forma, tamaño y estructura de las ciudades están estrechamente ligados a cómo nos movemos dentro de ellas. Desde la llegada del automóvil, han surgido dos modelos urbanos opuestos: la ciudad compacta y la ciudad dispersa (Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004). Asimismo, en función de la concentración de las actividades en la ciudad estas pueden ser monocéntricas o policéntricas.

Figura 2.1: Estructura monocéntrica, policéntrica y dispersa.



Fuente: Fielbaum et al. (2017).

La representación de Frielbaum et al. condensa estas dos variables en tres modelos: concentrado, policéntrico y disperso, y muestra los patrones de movilidad típicos de cada modelo urbano.

La ciudad compacta se caracteriza por una mayor densidad de población y la concentración de las actividades de mayor especialización en el centro urbano. En estas ciudades los flujos de tráfico más intensos se dirigen desde los barrios periféricos hacia el centro urbano. Sus infraestructuras de transporte público son más robustas debido a la existencia de patrones de usos del suelo que favorecen su desarrollo (Bok & Kwon, 2016).

Históricamente, las ciudades compactas han enfrentado la desventaja de la congestión del transporte hacia el centro urbano (Cervero, 2013) en Organización Naciones Unidas, 2021, p. 97). Sin embargo, esta problemática puede resolverse si se aprovecha el potencial que tiene este modelo de ciudad para tener un buen sistema de transporte público.

La ciudad policéntrica se distingue por la presencia de un núcleo central y varios subcentros de actividad. En este contexto urbano, los patrones de movilidad son más complejos; aunque prevalece el movimiento entre el núcleo central y la periferia, una proporción considerable de los desplazamientos iniciados en las áreas periféricas se dirigen hacia los subcentros.

Esta estructura permite concentrar los esfuerzos de desarrollo económico fuera del núcleo urbano reduciendo la congestión del mismo (Organización Naciones Unidas, 2021, p. 97). Para lograr una alta sostenibilidad en la movilidad es fundamental que los subcentros de actividad proporcionen una variedad funcional amplia que permita a los residentes satisfacer diversas necesidades, disminuyendo así la necesidad de desplazarse hasta el núcleo urbano, donde se concentrarían las actividades de mayor importancia.

La estructura policéntrica tiende a fomentar la movilidad sostenible; sin embargo, cuando los subcentros son predominantemente monofuncionales, como ocurre en polígonos industriales extensos, centros comerciales, campus universitarios o ciudades judiciales, se incrementa la dependencia de los desplazamientos motorizados y se reduce la viabilidad del transporte colectivo. Esta configuración conlleva a patrones de movilidad más similares a los de una ciudad dispersa, caracterizados por una mayor frecuencia y distancia de los desplazamientos.

La ciudad dispersa se caracteriza por poseer una periferia extensa y con bajas densidades de población (Figura 2.1). Estos modelos de crecimiento basados en un desarrollo urbano disperso promueven trayectos más largos, fomentando la dependencia del automóvil, consumiendo una gran cantidad de espacio y energía, y generando impactos ambientales significativos” (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006).

El alto grado de movilidad motorizada en estas urbes promueve configuraciones de usos del suelo que complican la circulación del colectivo no motorizado Geurs & Van Wee, (2004 como se citó en Di Ciommo & Shiftan, 2017, p.140). “Contrariamente a los espacios urbanos compactos que facilitan el uso del transporte público en las áreas dispersas, las personas generalmente tienen pocas alternativas aparte de comprar y utilizar un automóvil para poder participar en las oportunidades disponibles en su sociedad, debido a la falta de opciones de movilidad alternativas” (Currie & Senbergs, 2007).

Aunque el modelo de ciudad dispersa está más arraigado en países anglosajones, en España también se observan sectores que siguen este tipo de urbanismo. Estos sectores han surgido en el último tercio del siglo XX, ya que tradicionalmente las ciudades mediterráneas se han caracterizado por una estructura más compacta, como es el caso de Zaragoza (Calvo Palacios et al., 2014).

En el entorno actual, el enfoque emergente en la planificación urbana aboga por promover ciudades compactas con una mezcla de usos del suelo, abandonando los modelos de expansión dispersa monofuncionales. Esta orientación prioriza la proximidad a diversas actividades, servicios, instalaciones, lugares de trabajo y entretenimiento (Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, 2019, p. 124) disminuyendo las necesidades de transporte y, por consiguiente, facilitando el logro de una movilidad más sostenible.

2.3.2 Estrategias para conseguir la sostenibilidad de la movilidad urbana

Un sistema de transporte sostenible es aquel que “permite responder a las necesidades básicas de acceso y desarrollo de individuos, empresas y sociedades [...]; resulta asequible, opera equitativamente y con eficacia, ofrece una elección de modos de transporte y apoya una economía competitiva, así como el desarrollo regional equilibrado; y limita las emisiones y los residuos dentro de la capacidad del planeta para absorberlos (Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, 2019, p. 126).

La Nueva Agenda Urbana UN-HABITAT III subraya la importancia de desarrollar una infraestructura de transporte sostenible y eficiente mediante la generación y el uso de energía renovable y asequible para reducir los costos financieros, ambientales y de salud pública de la movilidad ineficiente, la congestión, la contaminación del aire, los efectos de las islas de calor urbano y el ruido” (Organización Naciones Unidas, 2021).

Las decisiones y planes para el desarrollo futuro de la movilidad y las ciudades están influenciados en gran medida por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). “Dichos objetivos fueron adoptados por todos los Estados miembros de las Naciones Unidas en 2015 y representan un llamado a la acción urgente en el marco de una asociación global (Nikulina et al., 2019, pp. 1-2). La meta 11.2 de los ODS solicita expresamente el fomento de un transporte sostenible para todos. Este objetivo es significativo en su propio contexto, pero es también fundamental para el cumplimiento de varios otros objetivos de desarrollo (Organización Naciones Unidas, 2021, pp. 95-96).

El Libro Blanco de la Sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español sugiere tres estrategias para mejorar la sostenibilidad en la movilidad y el transporte urbanos (i) disminuir las distancias, (ii) promover los medios de transporte no motorizados y (iii) reducir el tráfico de vehículos privados, fomentando el uso del transporte público. A continuación, se presentan las medidas más significativas para la implementación de cada una de las estrategias derivadas tanto de la fuente mencionada como de la Agenda Urbana Española (Fariña Tojo & Naredo, 2010, p. 36).

Con la finalidad de disminuir las distancias en las ciudades españolas se proponen medidas como fomentar un modelo urbano de usos mixtos que reduzca distancias en los viajes dentro de la ciudad, promover la asociación de lugares de residencia y empleo para limitar las exigencias de movilidad, el establecimiento de plataformas logísticas de distribución en cada barrio, el mantenimiento de espacios para la comercialización de productos locales o la reducción de las infraestructuras requeridas para el funcionamiento de la ciudad.

En relación con el fortalecimiento de los medios de transporte activos, se plantea priorizar, en la medida de lo posible, la ciudad para el peatón mediante la expansión del espacio destinado al mismo, la construcción de redes peatonales y ciclistas en áreas residenciales incluyendo los nuevos desarrollos urbanos, la integración de estas redes con los espacios verdes, potenciar la movilidad ciclista mediante el diseño de vías exclusivas o prioritarias, facilitar la integración de la bicicleta con el sistema de transporte público, así como la creación de aparcamientos para bicicletas.

Para fortalecer el transporte público es necesario establecer una oferta adecuada del mismo a nivel urbano y mejorar la integración entre los distintos modos, diseñar intercambiadores de transporte, garantizar la accesibilidad universal y promover una visión integrada de la movilidad al servicio del ciudadano (*MaaS, Mobility as a Service*).

En cuanto a la disminución de los desplazamientos en automóvil particular los citados documentos proponen reducir la velocidad del tráfico motorizado privado, disminuir la cantidad de espacio público destinado al mismo, poner en marcha restricciones en su uso, limitar las plazas de aparcamiento para vehículos privados, impulsar y favorecer el uso de vehículos de energías alternativas e híbridos, implantar puntos de recarga de coches eléctricos, ubicar aparcamientos de disuasión en la periferia urbana y facilitar la transferencia del usuario de un vehículo privado al transporte público o al vehículo compartido.

En definitiva, para mejorar la sostenibilidad de las ciudades la intención no es prohibir el uso del automóvil, sino diseñar ciudades de tal calidad y a una escala adecuada que las personas no necesiten tener un automóvil (Banister, 2008).

2.4 El estudio de la accesibilidad espaciotemporal en transporte público

La accesibilidad al transporte público es un tema de considerable relevancia tanto para la comunidad investigadora como para los encargados de formular políticas en

materia de transporte. Esta accesibilidad presenta variaciones espaciales y temporales significativas dependiendo del tipo de servicio ofrecido. De ahí que sea esencial obtener medidas de accesibilidad que aborden estas fluctuaciones en los análisis. Las técnicas para evaluar la accesibilidad espaciotemporal en el transporte público han recibido escasa atención en la literatura (Farber et al., 2014).

La introducción del estándar de datos General Transit Feed Specification ha facilitado la captura de estas variaciones en la accesibilidad al mejorar la cobertura geográfica, profundizar en la comprensión y aumentar la precisión de las mediciones, (Rodnyansky, 2018) lo que ha conducido a un incremento en la investigación en esta área en los últimos años (Stępniaak & Goliszek, 2017, p. 241).

Los estudios de accesibilidad espacial se han beneficiado de la disponibilidad recientemente mejorada de variables dinámicas, como los diversos tiempos de viaje a través de diferentes modos de transporte o la mayor resolución temporal de los datos geoespaciales. En este contexto han emergido dos tendencias principales en estos estudios, por un lado, el análisis de la accesibilidad espacial multimodal, y por otro, los cambios temporales en la accesibilidad espacial (Park & Goldberg, 2021).

En esta última corriente ha ganado importancia el uso de la especificación de datos GTFS, ya que tiene la capacidad de capturar las variaciones tanto espaciales como temporales de la accesibilidad en el transporte público, y han sido empleados en el ámbito científico y académico con una amplia gama de propósitos. Entre estos se incluyen la evaluación de la accesibilidad de la población al empleo y los servicios, la identificación de brechas o desequilibrios en los servicios existentes, la evaluación de los cambios en la accesibilidad debido a mejoras en el transporte público aún no implementadas, el potencial de los viajes multimodales que combinan transporte público y modos activos o el estudio de la configuración de sistemas de transporte semiformales, entre otros.

A continuación, se presentan algunas investigaciones que se consideran relevantes para cada una de estas cinco áreas.

Una línea prominente de investigación se centra en la evaluación del nivel de accesibilidad que el sistema de transporte público provee a la población para acceder al empleo y los servicios. En este contexto, sobresale el estudio realizado por Farber et al. (2014), el cual analiza la accesibilidad a los supermercados que poseen los residentes del área metropolitana de Cincinnati. Este estudio subraya la necesidad de emplear

metodologías más avanzadas que las utilizadas hasta la fecha para comprender el nivel de acceso que la población dependiente del transporte público tiene a los supermercados. Esto es especialmente relevante dado que la movilidad de esta población se ve considerablemente restringida por las rutas y horarios del sistema de transporte público.

Para abordar esta cuestión, el artículo emplea datos GTFS. Esta aproximación permite superar las medidas de accesibilidad estáticas, que no capturan adecuadamente la variabilidad de la accesibilidad en el transporte público, al estar condicionada por el momento en que se inicia el viaje.

El método propuesto por los autores se divide en tres fases distintas. Dado que el enfoque metodológico y el tratamiento de datos empleados en la presente investigación están en línea con la metodología previamente establecida por dichos autores, se procederá a detallar estas tres fases a continuación.

La primera fase se centra en la estimación del tiempo de viaje hacia los diez supermercados más próximos desde cada bloque censal. Para ello, se emplea la herramienta de ArcGIS "*Add GTFS to a Network Dataset*" para calcular el número de viajes en transporte público a lo largo de la red. Posteriormente, se generan varias matrices origen-destino de manera iterativa, lo que permite obtener información sobre los tiempos de viaje en intervalos de un minuto. Finalmente, se procede a la computación de los resultados obtenidos.

La segunda etapa se enfoca en la transformación de los tiempos de viaje en indicadores de accesibilidad. Este proceso implica la determinación del tiempo promedio en minutos requerido para alcanzar cada uno de los diez supermercados más próximos desde cada bloque censal. Luego, se calcula el porcentaje del tiempo en el que se dispone de acceso a un supermercado para un viaje de entre 10 y 20 minutos de duración en transporte público.

En la tercera fase, se lleva a cabo un análisis de las disparidades socioeconómicas de la población en función de los diferentes niveles de accesibilidad encontrados.

De forma posterior al estudio de Farber et al. (2014) se han sucedido una serie de estudios que se sirven de este mismo estándar de datos para identificar brechas o desequilibrios en la accesibilidad espaciotemporal.

En el estudio *Identifying public transport gaps using time-depedent accessibility* (Fransen et al., 2015), se propuso una metodología para identificar deficiencias en el

transporte público en Flandes, Bélgica. Esta investigación considera la variabilidad temporal en los niveles de accesibilidad a través de la utilización de datos GTFS. Demuestra la importancia de modelar la accesibilidad al transporte público de manera continua en el tiempo y basada en horarios para identificar discrepancias entre la demanda socialmente impulsada de transporte y la oferta proporcionada por las agencias de tránsito.

Con un propósito similar Stępniaak & Goliszek (2017) investigan las disparidades en la accesibilidad entre diferentes zonas de la ciudad de Szczecin (Polonia), así como su variabilidad durante el día. Para ello utiliza datos reales de transporte público en formato GTFS a partir de los cuales realiza varios análisis con matrices origen-destino que posteriormente convierte en un valor de accesibilidad.

Otra área de investigación implica utilizar la capacidad de los datos GTFS para evaluar cómo afectarían a la accesibilidad de la población futuras mejoras en la red de transporte ya sean proyectos firmes o cambios hipotéticos.

En este contexto, Lee & Miller, (2018) llevan a cabo un análisis de la accesibilidad espaciotemporal en la ciudad de Columbus (Estados Unidos) mediante el estudio de la red de transporte actual y una red propuesta que incorpora mejoras en el servicio. En sus análisis calculan isócronas de accesibilidad para cuatro momentos específicos: hora punta y hora valle tanto en día laborable como en domingo para dos ubicaciones concretas. Este enfoque se distingue de otros estudios al no emplear una medida de accesibilidad continua en el tiempo, sino al centrarse en momentos representativos. Los hallazgos se centran en evaluar las mejoras en accesibilidad a lugares de trabajo y servicios de salud en los diferentes escenarios considerados.

En una línea similar de investigación, Farber & Fu (2017) emplean datos GTFS para examinar el impacto de reducciones y expansiones en el servicio de transporte público sobre los tiempos de viaje, así como su repercusión en la accesibilidad laboral en las áreas metropolitanas de Salt Lake City y Oregón. Los resultados corroboran la viabilidad de esta metodología, la cual emplea una medida continua de accesibilidad tanto en el ámbito temporal como espacial. Esto se logra mediante la utilización de cubos tridimensionales, donde las dimensiones representan la totalidad de los puntos de origen y destino dentro del área de estudio, así como el transcurso del tiempo a lo largo de un día.

Guthrie et al. (2017) presentan un análisis detallado sobre la creación de una red de tránsito hipotética. A partir de los datos GTFS actuales se procede a generar una base de

datos adicional que incorpora las diferentes mejoras propuestas para el sistema de transporte público en la región de Minneapolis-Saint Paul para el año 2040. Este enfoque permite conocer las mejoras en la accesibilidad al empleo y evaluar los posibles beneficios que cada uno de los corredores propuestos ofrecen al sistema en su conjunto.

En el contexto español destaca el estudio de Mercadé Aloy et al. (2020). Con un enfoque algo distinto el autor plantea un método para identificar las centralidades urbanas de la red de transporte público basándose en la evaluación de la accesibilidad. Los datos GTFS se usan tanto para caracterizar el escenario actual como para un escenario mejorado en el que se plantea una estrategia de refuerzo de algunos intercambiadores.

Weckström & Mladenović (2020) investigan la trayectoria de desarrollo de las redes de transporte público en 24 ciudades de los países escandinavos, con poblaciones que oscilan entre 100,000 y 500,000 habitantes. En este contexto, se emplea el estándar de datos GTFS para evaluar la cantidad y estructura de los servicios de transporte público actualmente ofrecidos, así como para evaluar los objetivos y medidas de planificación propuestos. Basándose en esta evaluación, el estudio ofrece recomendaciones de políticas de transporte a llevar a cabo en el desarrollo de los procesos de planificación del transporte público actualmente en curso en los países nórdicos.

Este último estudio se enmarca también en otra línea que es la de comparación de la accesibilidad en transporte público entre diferentes ciudades.

Otro ejemplo de investigaciones en esta área ha sido el llevado a cabo por Kujala et al. (2018) en el cual los investigadores elaboran una base de datos de transporte público que abarca 25 ciudades. Además, el estudio proporciona una metodología detallada para la creación de una base de datos relacional a partir de archivos en formato GTFS, junto con varios *scripts* para su generación.

Un ejemplo adicional en esta área es el estudio titulado *Comparable Measures of Accessibility to Public Transport Using the General Transit Feed Specification* (Bok & Kwon, 2016). En este trabajo, los autores emplean datos GTFS junto con datos demográficos para evaluar y comparar la accesibilidad al transporte público en áreas urbanas de diversos contextos geográficos.

Otro campo de aplicación del estándar de datos GTFS ha sido el análisis de la relación entre el transporte público y los modos activos de transporte.

En esta línea Djurhuus et al. (2016) utilizan datos GTFS como fuente primaria para posteriormente realizar un tratamiento de datos distinto al propuesto en otras investigaciones que emplean herramientas de ArcGIS como *Add GTFS to a Network Dataset*. El método adoptado en este estudio permite distinguir entre las distintas etapas de viaje, que incluyen desplazamientos a pie, en bicicleta, en transporte público, así como, el tiempo requerido para intercambios.

Los resultados se centran en evaluar la accesibilidad en tres tipos de ubicaciones diferentes: áreas urbanas centrales, áreas suburbanas y espacios rurales. Se comparan las áreas accesibles dentro de intervalos de tiempo de 30, 45 y 60 minutos a partir de la parada de transporte público más cercana, así como las paradas accesibles a pie dentro de un radio de 1 km y las accesibles en bicicleta dentro de un radio de 3 km. Este enfoque permite no solo determinar el nivel de accesibilidad, sino también observar cómo este aumenta mediante la combinación del transporte público con otros modos de desplazamiento activos.

En este mismo contexto, el estudio de Levy et al. (2019) analiza los datos del sistema de bicicletas compartidas de Tel Aviv y los correspondientes a la red de transporte público de la ciudad, con el propósito de comprender la interacción entre los patrones espaciales del ciclismo y los viajes en autobús.

En un enfoque similar, el estudio (Liu & Miller, 2022) investiga la relación entre los viajes en transporte público y el uso de patinetes en Columbus (Estados Unidos), resaltando el potencial de estas redes para abordar el desafío de la última milla en los desplazamientos urbanos realizados en transporte público.

A pesar de que el estándar de datos requiere paradas y horarios fijos, algunos investigadores han logrado integrar este tipo de información en sistemas de transporte semiformales de manera satisfactoria, lo que ha abierto una nueva área de investigación.

Un ejemplo de ello es el trabajo realizado por Mehndiratta et al. (2014), donde se realizó una aproximación para incorporar el sistema de colectivos de la Ciudad de México, el cual permite que las rutas realicen paradas en cualquier punto intermedio de su recorrido. Otro ejemplo es el proyecto Matatu, Williams et al. (2015) que utilizó información recopilada a partir de teléfonos móviles para entender la estructura del sistema semiformal de transporte público de Nairobi y posteriormente desarrollar una base de datos conforme al estándar GTFS a partir de dicha información.

En definitiva, existe una amplia variedad de métodos a partir del empleo la especificación de datos GTFS para examinar la accesibilidad espaciotemporal en el transporte público, así como una extensa gama de áreas de investigación en las que aplicarlos.

2.5 La evolución de la movilidad en el tiempo, el caso de Zaragoza.

2.5.1 Los antecedentes del transporte urbano

En la era preindustrial las ciudades mostraban una morfología compacta y un reducido tamaño. La economía estaba mayormente centrada en la agricultura, y los espacios de trabajo se encontraban en el entorno inmediato de pueblos y ciudades. Los desplazamientos de la población se realizaban mayoritariamente a pie o utilizando animales como medio de transporte (Stanley & Stanley, 2017).

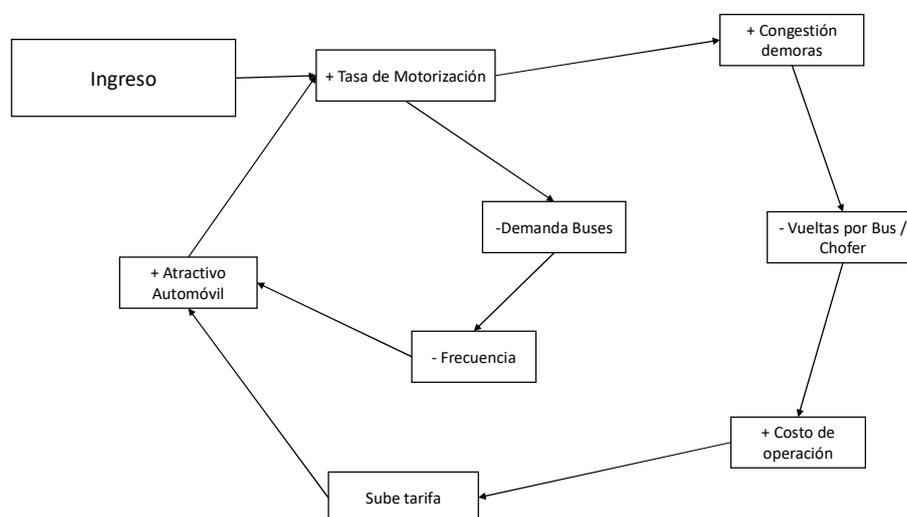
Durante la era industrial, las ciudades experimentaron un significativo crecimiento, impulsado por el desarrollo de los transportes públicos, en concreto, del ferrocarril y el tranvía eléctrico. Este crecimiento condujo a una descentralización de la población y una expansión de la urbanización a lo largo de las líneas de transporte, donde las condiciones de accesibilidad mejoraron notablemente. Como resultado, la morfología urbana adoptó una forma tentacular (Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004).

Tras la Segunda Guerra Mundial, las industrias se reubicaron masivamente desde los núcleos urbanos centrales hacia áreas suburbanas, dejando espacio para la expansión de actividades administrativas y financieras. A la par, las zonas residenciales se extendieron notablemente por la periferia. En respuesta a este cambio, surgieron nuevos espacios comerciales en las áreas suburbanas, motivados por la facilidad de acceso mediante carreteras y la necesidad de atender la demanda de estas zonas en expansión (Rodrigue et al., 2013, p. 195). Esta deslocalización de actividades conllevó un incremento significativo en la movilidad motorizada, impulsado principalmente por la masiva adopción del vehículo particular.

En consecuencia, se observa un progresivo deterioro en la calidad de los servicios de transporte colectivo, fenómeno conocido como la espiral de deterioro del transporte público. Dada su importancia, analizamos en profundidad este proceso que tuvo lugar en España durante las décadas de los sesenta y setenta. “La causa de esta espiral es bien conocida: desde un punto de vista privado, el automóvil es percibido por las personas como un bien muy apetecible, y con claras ventajas debido a su velocidad, comodidad,

privacidad y el servicio de puerta a puerta que presta, mientras que socialmente el transporte público es mucho más eficiente” (Coeymans Avaria, 2004, p. 162).

Figura 2.2: Ciclo de deterioro del transporte público



Fuente: Coeymans Avaria (2004). Elaboración propia

El autor postula que el aumento de la renta disponible conlleva a una percepción más favorable del automóvil particular, lo que se traduce en un incremento en la tasa de motorización. Este fenómeno genera dos efectos que se retroalimentan mutuamente. Por un lado, el incremento en el número de vehículos conduce a una mayor congestión del tráfico, lo que a su vez ocasiona un aumento en los tiempos de viaje y los costos operativos, que deben ser compensados mediante incrementos en las tarifas. Consecuencia de ello es que, el transporte público experimenta una disminución en su atractivo en comparación con el uso del automóvil privado, impulsando un nuevo incremento en la tasa de motorización.

Por otro lado, el aumento de la motorización induce una disminución de la demanda de servicios de transporte público. Como respuesta, los sistemas de transporte colectivo se ven forzados a ajustarse a esta reducida demanda ofreciendo un menor servicio, lo que resulta en un aumento en los tiempos de viaje y vuelve, de nuevo, a aumentar el atractivo del vehículo particular.

En los últimos años, en el marco del nuevo enfoque hacia la movilidad sostenible, numerosas ciudades están implementando medidas para revertir este problema. Entre las iniciativas más destacadas se incluyen la promoción de los medios de transporte activos, la

recuperación de espacios públicos para el ciudadano y el fortalecimiento de las redes colectivas de transporte.

2.5.2 El desarrollo del transporte motorizado en Zaragoza y su entorno

Evolución del transporte público en la ciudad de Zaragoza

El ferrocarril fue el primer medio de transporte motorizado en llegar a Zaragoza, lo hizo en septiembre de 1861 con la inauguración de la línea Barcelona-Lérida-Zaragoza. Un mes después se puso en funcionamiento la línea Alsasua-Zaragoza. La conexión con Madrid se inauguró dos años después, en 1863 (Faus Pujol, 1978, pp. 88-89).

Los orígenes del transporte urbano de Zaragoza se remontan a la creación de la Sociedad tranviaria de Zaragoza en 1885. Entre 1885 y 1887 se desarrollaron cinco líneas de este medio de transporte que partían desde la Plaza de la Constitución (actual Plaza España) hasta distintos puntos de la ciudad, entre ellos, las principales estaciones de ferrocarril. En la primera década del siglo XX comienza el proceso de electrificación de la red, hasta entonces explotada con tracción de sangre, y continúa su proceso de expansión (Peña Gonzalvo & Valero Suárez, 1986, pp. 13-18).

En el año 1905, se matricula en Zaragoza el primer automóvil. Por ende, el transporte particular llegó a la ciudad tres décadas más tarde que el tranvía y más de cinco si lo comparamos con el ferrocarril. En 1912 se matricula el vehículo 100 y en 1924 el 1.000 (Tranvías de Zaragoza, s. f.-a). Desde entonces, el número de vehículos en circulación ha experimentado un crecimiento gradual, pero a un ritmo cada vez más acelerado, lo que ha dado lugar a una situación de crecimiento exponencial.

En cuanto al tranvía, la red se fue expandiendo gradualmente como el único sistema de transporte urbano, hasta que en 1951 surgió el primer trolebús, seguido por el primer autobús en 1955. Inicialmente estos medios se utilizan, o bien para complementar al tranvía, o bien para sustituirlo en líneas de débil tráfico (Peña Gonzalvo & Valero Suárez, 1986).

En 1959 la ciudad de Zaragoza contaba con un total de 13 líneas de tranvía (habían llegado a ser un total de 17), complementadas además por tres líneas de trolebús (en sustitución de antiguas líneas de tranvía) y dos de autobús. En aquel entonces, la red de tranvías constituía la columna vertebral del transporte urbano de la ciudad, con 33,6 km de extensión, atendía eficazmente a los principales desplazamientos radiales, y recibía 204.000 usos diarios (Navarro Ferrer, 1962).

En 1967 la red de transporte público llegó a su punto álgido movilizandoo 105 millones de viajeros, de los cuales, 86 millones correspondían al tranvía. A partir de aquel momento la política de sustitución de tranvías y trolebuses por autobuses pasa de limitarse a líneas de bajo tráfico para centrarse también en líneas con importante tráfico de viajeros hasta que en 1976 se clausura la última línea de tranvía de la ciudad. La red de autobuses resultante de tal sustitución poseía una estructura muy similar a la red tranviaria, pero con una menor radialidad.

En la década de los años setenta, la planificación urbana otorgó prioridad al uso del vehículo privado sobre otros modos de transporte, dedicando espacio en la ciudad para su uso mediante acciones como el asfaltado de calles o la habilitación de estacionamientos. La creciente popularidad del transporte individual tuvo un impacto negativo en el uso del transporte público, que experimentó un acusado descenso en el número de usuarios. En 1978, la red de autobuses urbanos movilizó un total de 67 millones de pasajeros, 38 millones menos que una década antes. (Peña Gonzalvo & Valero Suárez, 1986).

Durante los años 80 y 90 esta red experimentó un paulatino incremento en el número de líneas y frecuencias (Ayuntamiento de Zaragoza, 2019). Sin embargo, no fue hasta la primera década del siglo XXI que se logró superar el número de usuarios alcanzado en la década de los sesenta. Este máximo se produjo con motivo de la Exposición Internacional de 2008, año en el que 132 millones de viajeros utilizaron el sistema de transporte público (Ayuntamiento de Zaragoza, 2019, p. 26).

Es también en este momento cuando la ciudad registra un máximo en la tasa de motorización con 392 vehículos por persona y un total de 341.141 matriculaciones. Desde entonces y hasta la actualidad, una combinación de políticas destinadas a promover el uso de medios de transporte no motorizados, el refuerzo del transporte público, con la reintroducción del tranvía en el año 2011, así como los efectos de la crisis económica, contribuyeron a estabilizar el número de automóviles en la ciudad (Ayuntamiento de Zaragoza, 2018a).

Evolución del transporte público en el entorno de Zaragoza

Hasta la creación del Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza en 2007, la expansión del sistema de transporte público metropolitano de Zaragoza se produjo de manera desigual, sin una entidad coordinadora que planificara su desarrollo. Anteriormente, los servicios de transporte en los alrededores de Zaragoza se consideraban como redes separadas, evolucionando según tres dinámicas distintas:

La primera corresponde al crecimiento orgánico de líneas interurbanas autonómicas bajo contratos de concesión entre empresas de transporte y el Gobierno de Aragón. La mayoría de las líneas de transporte actuales evolucionaron a partir de esta dinámica. Estas concesiones instauraron restricciones de tráfico en aquellos tramos donde se superponían líneas de diferentes empresas, estableciendo que únicamente una de ellas tuviera el derecho de operar los flujos de tráfico entre un par origen-destino particular.

Estas concesiones incorporaban restricciones de tráfico en los tramos donde coincidían líneas de diferentes empresas, ya que sólo una de ellas tenía el derecho de operar los flujos de tráfico entre un par origen-destino específico. Esto unido a la relativamente baja densidad demográfica del entorno de Zaragoza provocó que la única relación con demanda suficiente para establecer un servicio de transporte público fuera la existente entre dichos núcleos y la capital. Como resultado, la estructura de los servicios de transporte público metropolitano ha presentado hasta la actualidad una fuerte estructura radial, un número de frecuencias diarias relativamente bajo, y una nula coordinación horaria entre servicios de diferentes compañías dificultando los trasbordos (Loscertales Palomar et al., 2015).

La segunda dinámica fue la realización de importantes mejoras en los servicios que atendían a los núcleos de población pertenecientes al término municipal de Zaragoza. Esta dinámica comenzó tras la firma del Convenio de Colaboración entre la Diputación General de Aragón y el Ayuntamiento de Zaragoza, suscrito con fecha del 20 de julio de 1989. A partir de entonces los déficits de explotación fueron asumidos por el consistorio y estos núcleos fueron incorporados en las líneas a Barrios Rurales o en la red urbana de Zaragoza, con un nivel de servicio elevado en relación con su población quedando mucho mejor servidos que el resto de las localidades del área.

La tercera dinámica consistía en la explotación de servicios de trenes regionales gestionados por RENFE. Estos servicios, que se extienden más allá del área metropolitana de Zaragoza, no están coordinados en cuanto a horarios con los servicios de autobús debido a que están diseñados para atender relaciones regionales gestionadas por RENFE. En 2008, se inauguró la primera línea de cercanías de Zaragoza, que atiende a los núcleos de Casetas y Utebo, persistiendo la falta de coordinación de horarios. Otra limitación de este modo de transporte es que las estaciones se encuentran ubicadas fuera del centro urbano en la mayoría de los casos, y prácticamente ninguna cuenta con paradas de autobús.

En 2007 se estableció el Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza, al cual se le asignaron responsabilidades relacionadas con la planificación de infraestructuras y la reorganización de los servicios de transporte de interés metropolitano (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza et al., 2016) poniendo fin a la evolución dispar de las redes de transporte del área.

En la actualidad, está integrado por un total de 30 municipios, entre los cuales se encuentra Zaragoza, y en conjunto suman 781.825 habitantes, de los cuales 106.826 residen fuera del término municipal de Zaragoza (Instituto Aragonés de Estadística, 2019).

Capítulo 3. Área de Estudio

3.1 Delimitación del área de estudio

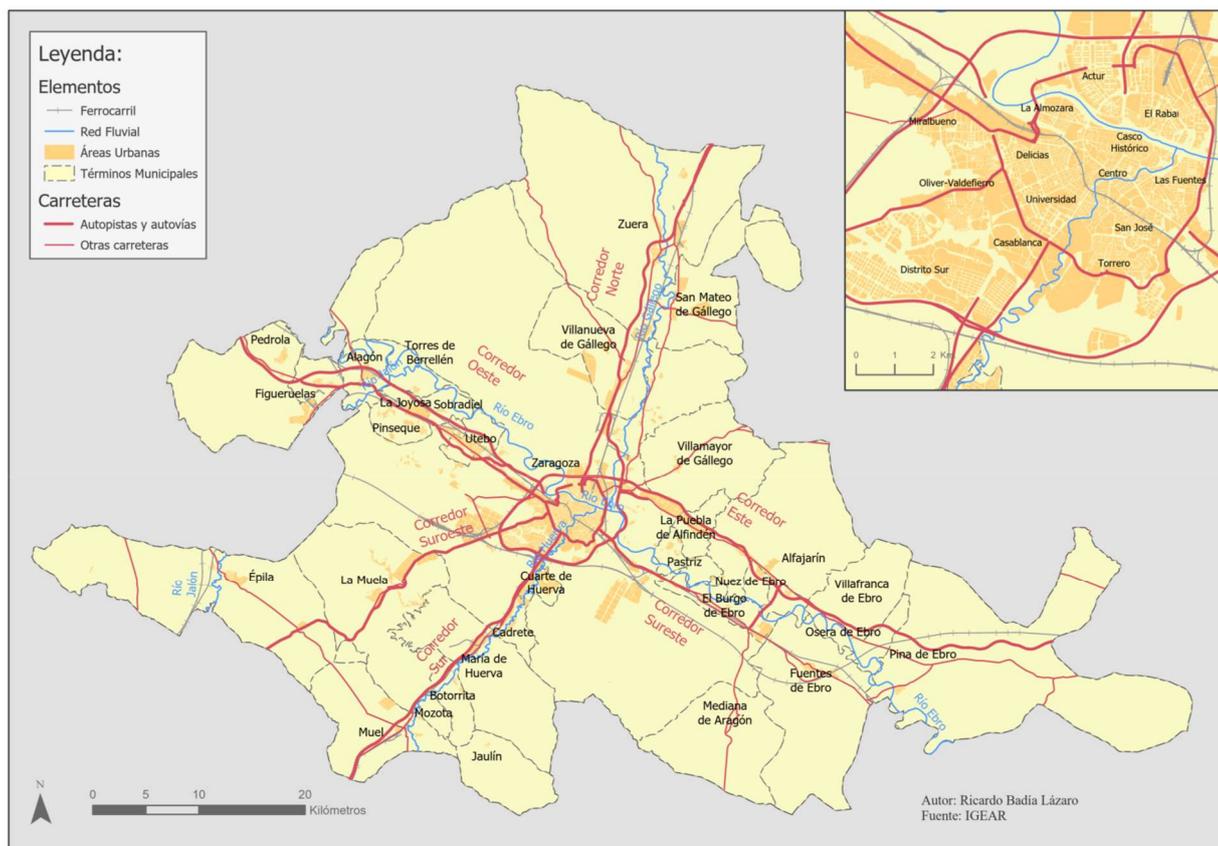
El área de estudio de este trabajo se corresponde con la definida en las Directrices Metropolitanas de Movilidad publicadas por el Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza, más los municipios de Pedrola y Épila propuestos para su integración en dichas directrices (Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza et al., 2016). En su conjunto, este espacio comprende un total de 32 municipios con 80 entidades singulares de población, ocupa una superficie de 3.258 km², posee una población de 789.779 habitantes (Instituto Aragonés de Estadística, 2019) y una densidad de 242,4 hab./km². A escala nacional constituye la octava región metropolitana de España por población (Ministerio de Fomento, 2018), y alberga a la quinta ciudad más poblada del país, Zaragoza.

La utilización de esta delimitación frente a cualquier otra de tipo administrativo se justifica en el propio concepto de área metropolitana que surge para designar espacios que se configuran como unidades funcionales al poseer núcleos de población que reúnen un cierto tamaño y contigüidad por lo que presentan estrechos lazos entre sí. Al tratarse de una delimitación que debe de hacerse por vínculos funcionales existen en muchas ocasiones dificultades para establecer un límite concreto entre lo metropolitano y lo rural, ya que cada vez esta frontera es más difusa (Amin & Thrift, 2002).

En el caso del entorno de Zaragoza, no se ha constituido una región metropolitana oficial por lo que existen diferentes delimitaciones que abarcan superficies diferentes. Entre ellas destacan las delimitaciones de Sánchez Degano de 1996 con 17 municipios, la del Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza con 32 municipios, o la del Atlas estadístico de las Áreas Urbanas en España (Ministerio de Fomento, 2018) con 15 municipios. Ante estas disparidades, se decide utilizar para este estudio la superficie propuesta en las Directrices Metropolitanas de Movilidad por el Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza.

La razón de esta elección se fundamenta en que este espacio constituye el marco en el que se articula todo el transporte público metropolitano, aspecto de especial trascendencia para el objetivo de este estudio. Además, en esta investigación se incorporan las ampliaciones previstas, correspondientes a los municipios de Pedrola y Épila en el área de estudio. Esta inclusión pretende analizar un espacio con mayor recorrido temporal, evitando así que quede rápidamente desactualizada.

Figura 3.1: Mapa de los municipios que integran el área de estudio.



Fuente: IGEAR. Elaboración propia.

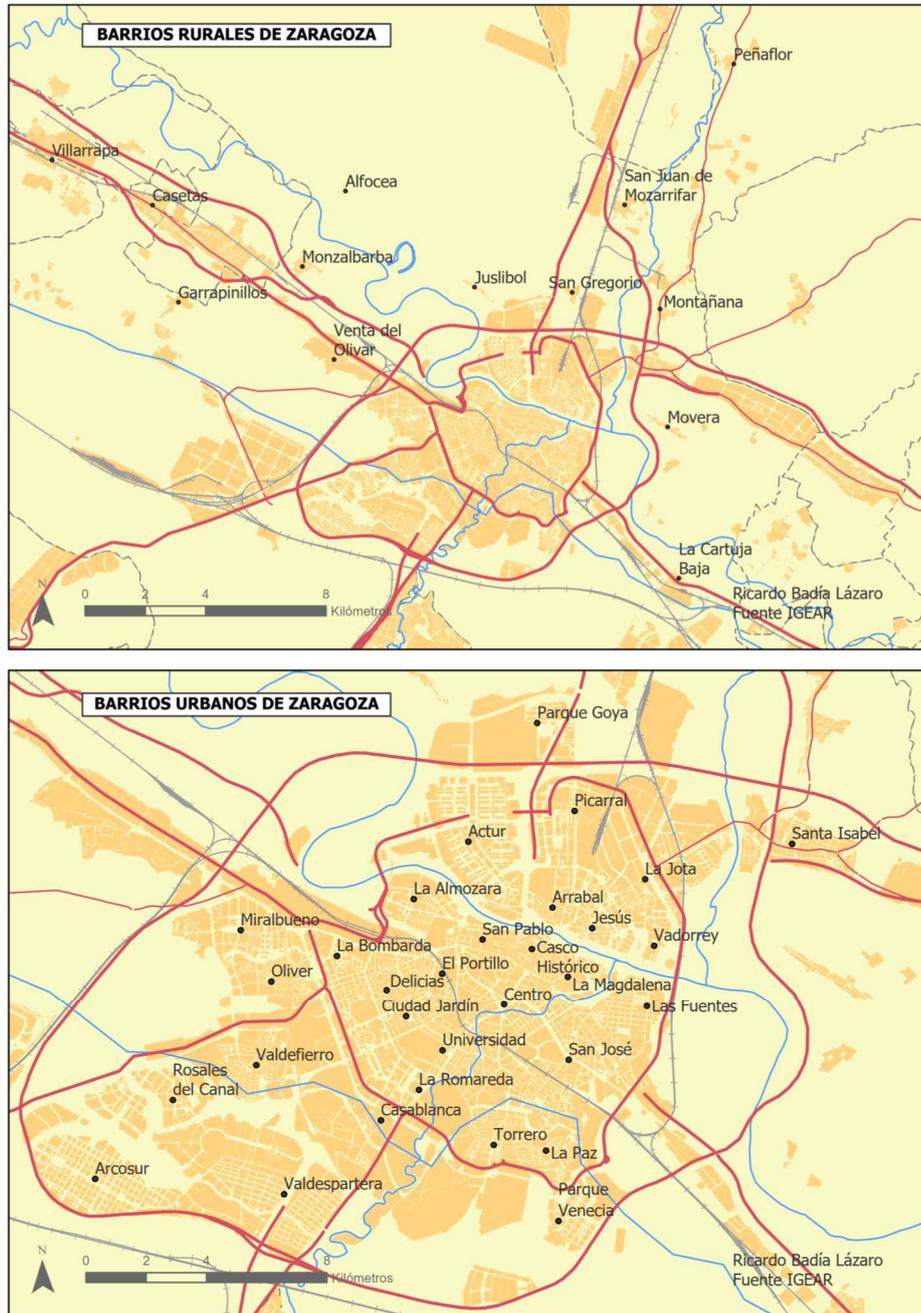
Características y evolución demográfica del entorno metropolitano de Zaragoza

El área de estudio, en adelante denominada *entorno metropolitano de Zaragoza* o *área metropolitana de Zaragoza*, se localiza en el centro del valle del Ebro, una amplia depresión de origen terciario franqueada por tres cordilleras; Los Pirineos al norte, el Sistema Ibérico al Suroeste y la Cordillera Costero Catalana al este. La ciudad de Zaragoza fue fundada en época romana sobre un antiguo poblado permanente emplazado junto a la desembocadura del río Huerva y el río Ebro. Este lugar gozaba de un importante poder estratégico ya en Época Romana puesto que permitía controlar el centro del valle del Ebro y el acceso hacia el norte y la Meseta (Lostal Pros & Anson Navarro, 2002).

Este espacio cuenta, por tanto, con una gran disponibilidad de suelo al situarse en la confluencia de los valles del río Ebro y sus afluentes Gállego, Huerva y Jalón, por lo que domina la topografía plana en prácticamente toda el área, a excepción de los interfluvios, llamados “*Muelas*”. Esta disponibilidad ha facilitado su utilización para actividades

agrícolas y su posterior transformación hacia actividades industriales, urbanas, así como, el trazado de infraestructuras de transporte.

Figura 3.2: Mapa de barrios de Zaragoza



Elaboración propia.

Además, la ciudad de Zaragoza posee un amplio término municipal que ha favorecido el crecimiento de esta localidad frente a su área metropolitana. El núcleo de Zaragoza experimentó un rápido crecimiento gracias a la emigración procedente del éxodo rural que fue especialmente intensa en el tercer cuarto del siglo XX. Durante las décadas de

los años cincuenta, sesenta y setenta el crecimiento se concentró en la capital, que consigue doblar su población (pasando de 241.868 habitantes en 1950 a 569.830 habitantes en 1981 (IAEST, 2020). Esta población se acomodó en los denominados “barrios tradicionales”, la mayoría de ellos contiguos a zonas del centro o ensanches de la ciudad, como son los casos de Delicias, San José, Las Fuentes o Torrero, y otros en una posición más periférica, como Miralbueno, Oliver, Valdefierro o Santa Isabel.

En contraste, la expansión residencial hacia el espacio metropolitano ha sido un proceso mucho más tardío que en otras áreas metropolitanas españolas. De hecho, este proceso de suburbanización no ha alcanzado una cierta importancia hasta principios del siglo XX, si bien, el espacio periurbano de Zaragoza ya conocía de algunos antecedentes de ocupación del suelo relevantes, principalmente ligados a la actividad industrial (De Miguel González, 2014) también a escala regional.

Como consecuencia de este proceso, una de las principales características del espacio metropolitano de Zaragoza en la actualidad es su marcada macrocefalia, hecho que trasciende la escala metropolitana y que se observa también a nivel autonómico. En el año 2019 un 82% de toda la población metropolitana residía en la ciudad de Zaragoza (Instituto Aragonés de Estadística, 2019), fecha para la que contaba con 646.223 habitantes, frente a 143.556 habitantes en el resto del área de estudio. Esta situación contrasta con la de otras áreas urbanas españolas de similar tamaño poblacional donde la ciudad central supone entre un 30% y un 60% del total (Ministerio de Fomento, 2018).

Aunque es durante estas dos últimas décadas cuando despega el crecimiento residencial en los municipios periféricos (De Miguel González, 2014, pp. 2-3), el grueso del crecimiento poblacional ha sido absorbido por los nuevos desarrollos urbanos de la capital, especialmente los situados entre el tercer y el cuarto cinturón que están “caracterizados por grandes fragmentos monofuncionales, no separados unos de otros sino soldados al espacio urbano preexistente, por las arterias de circulación [...] [Este patrón] fomenta la segregación social e impulsa un modelo policéntrico basado en desplazamientos en automóvil privado” (Escolano-Utrilla et al., 2018 p. 1). Es necesario destacar que la superficie de estos nuevos espacios urbanos, de usos residenciales como los industriales y de equipamientos, desarrollados entre 2001 y 2015, supuso añadir unas 3250 ha. de espacio urbanizado en el entorno de Zaragoza, superficie que supone casi doblar la existente hasta entonces que era de 3910 ha. en 2001 (Escolano-Utrilla et al., 2018, p. 7).

A pesar de todo este desarrollo reciente excluyendo la ciudad de Zaragoza, nos encontramos ante un espacio metropolitano con relativamente poca población organizada principalmente en núcleos de carácter semiurbano que articulan un espacio más próximo al concepto de rururbano que al de suburbano o metropolitano. Una particularidad del área es la importante extensión del término municipal de Zaragoza, que en la práctica incluye una gran cantidad de núcleos próximos, son los denominados “Barrios rurales” (Véase Figura 3.2: Mapa de barrios de Zaragoza). En conjunto los barrios rurales suman 28.774 habitantes no superando ninguno los 10.000 habitantes (Instituto Aragonés de Estadística, 2019).

El resto de los municipios del área aglutinan una población de 114.782 habitantes y presentan una densidad de población de 50 hab./km², un valor bastante bajo para un área metropolitana y que contrasta fuertemente con los 693 hab/km² del municipio de Zaragoza. En el espacio metropolitano sólo dos núcleos de población superan los 10.000 habitantes (Utebo 18.593 hab. y Cuarte de Huerva 12.862 hab.).

El valor estratégico de la situación del área metropolitana de Zaragoza

Como ya se ha aventurado en el epígrafe anterior, Zaragoza tiene un gran valor estratégico desde Época Romana al dominar el centro del valle del Ebro. Esta posición estratégica se mantiene en la actualidad y continúa siendo una de las principales características definitorias de Zaragoza y su espacio metropolitano al emplazarse en un cruce de caminos entre cuatro de las cinco principales áreas metropolitanas del país: Madrid, Barcelona, Valencia y Bilbao. La proximidad a estas regiones hace que en un radio de 350 kilómetros alrededor de Zaragoza se reúna un 60% de la población española y un 80% de su Producto Interior Bruto (Ayuntamiento de Zaragoza, 2018b).

La cercanía a estos espacios, junto a una topografía plana ha favorecido el desarrollo de un buen número de infraestructuras de transporte terrestre lo que a su vez ha reforzado el papel industrial y logístico de Zaragoza. Gran parte de estas actividades se sitúan junto a la red viaria de alta capacidad y entre ellas destacan los Polígonos de Malpica, la Plataforma Logística PLAZA, El parque tecnológico del reciclado, en la periferia de la ciudad de Zaragoza, y OPEL España en Figueruelas.

Estructura del área metropolitana de Zaragoza

Las principales infraestructuras de transporte, de importancia nacional, se han servido de los amplios valles del área para llegar hasta Zaragoza, donde confluyen. Junto a ellos encontramos las principales zonas industriales y, a cierta distancia, los núcleos de

población. La Tabla 3.1 sintetiza las principales características de los ejes mencionados. Como se puede observar, sólo el corredor oeste, conocido también como corredor de la Carretera de Logroño se sitúa por encima de los 50.000 habitantes, siendo los siguientes el corredor norte o corredor de la Carretera de Huesca y el Sur o Corredor de la Carretera de Valencia con 25.000 habitantes respectivamente. El eje menos poblado con 10.000 habitantes es el Suroeste o eje de la Carretera de Madrid, pues es el único que queda fragmentado por una plataforma estructural “La Muela” entre el valle del Ebro y el del Jalón. Para ver una explicación más pormenorizada de las infraestructuras y servicios de transporte de todos ellos véase el epígrafe Infraestructuras de transporte.

La estructura por coronas típica de otras áreas metropolitanas queda muy desdibujada en el caso de Zaragoza (ver Tabla 3.1 y Figura 3.1). Esto es así no sólo por la importancia de los corredores o ejes mencionados sino también por la gran extensión del Término Municipal de Zaragoza. De cualquier modo, podemos ver un cierto gradiente en la densidad de la población entre el Término municipal de Zaragoza, los municipios contiguos y el resto de los municipios del área metropolitana.

Tabla 3.1: Ejes del área metropolitana de Zaragoza

<i>Eje o corredor</i>	<i>Población</i>	<i>Industria</i>	<i>Infraestructura</i>
<i>Corredor Norte</i>	<i>25.627</i>		<i>A-23, A-123</i>
<i>Eje de Huesca</i>	<i>17.963</i>	<i>Ciudad del Transporte</i>	<i>FF.CC. Zaragoza-</i>
<i>Margen Izq. Río</i>		<i>Mercazaragoza</i>	<i>Canfranc</i>
<i>Gállego</i>	<i>7664</i>		<i>FF.CC. Madrid-Barcelona</i>
<i>Corredor Este</i>	<i>19.629</i>	<i>Polígono Industrial</i>	
<i>Eje de Monegros</i>	<i>2720</i>	<i>Malpica</i>	<i>A-2, AP-2 y N-II</i>
<i>Eje de Barcelona</i>	<i>13.036</i>	<i>Polígono Industrial</i>	
<i>Ctra. de Pastriz</i>	<i>3870</i>	<i>Cogullada</i>	
<i>Corredor Sureste (Ctra. de Castellón)</i>	<i>9408</i>	<i>Parque Tecnológico del Reciclado, Zonas Industriales junto A-68</i>	<i>A-68, N-232</i>
<i>Corredor Sur (Ctra. de Valencia)</i>	<i>25.370</i>	<i>Polígonos Industriales junto A-23</i>	<i>FF.CC. Zaragoza-Sagunto</i>
<i>Corredor Suroeste (Ctra. de Madrid)</i>	<i>10.170</i>	<i>Plataforma Logística PLAZA, Centrovía</i>	<i>A-2</i>
<i>Corredor Oeste (Ctra. de Logroño)</i>	<i>53.352</i>	<i>Polígonos Industriales junto A-68</i>	<i>AP-68, A-68, N-232</i>
<i>TOTAL</i>	<i>143.556</i>		<i>FF.CC. Zaragoza-Castejón de Ebro</i>

Fuente:(Instituto Aragonés de Estadística, 2019). Elaboración propia Nota: La columna población incluye a los barrios rurales

Tabla 3.2. Coronas del área metropolitana de Zaragoza

<i>Zona</i>	<i>Población</i>	<i>Densidad (hab/km²)</i>
<i>Municipio de Zaragoza</i>	<i>679.997</i>	<i>693</i>
<i>Zaragoza</i>	<i>646.223</i>	
<i>Barrios Rurales</i>	<i>28.774</i>	
<i>Área Metropolitana</i>	<i>114.782</i>	<i>50</i>
<i>Municipios contiguos</i>	<i>47.034</i>	<i>209</i>
<i>Municipios periféricos</i>	<i>67.748</i>	<i>33</i>
<i>TOTAL</i>	<i>789.779</i>	<i>242</i>

Fuente: (Instituto Aragonés de Estadística, 2019). Elaboración propia

En definitiva, el área de estudio incluida en las Directrices Metropolitanas de Movilidad, y los dos nuevos municipios (Pedrola y Épila) que en ellas se proponen para su integración constituyen un buen escenario para estudiar las diferencias de accesibilidad entre los dos perfiles de movilidad planteados (motorizado y no motorizado), ya que, por un lado, componen el marco espacial por el que se rige el transporte público metropolitano, y por otro, incluyen todas las áreas residenciales, industriales y de servicios de relevancia.

3.2 Infraestructuras de transporte

A continuación, se presentan las principales características que ejercen influencia en los desplazamientos motorizados dentro del entorno de Zaragoza. En primer lugar, la existencia de una fuerte concentración de población en la ciudad central. En segundo lugar, su ubicación estratégica en un cruce de caminos entre Madrid, Barcelona, el Levante y el Cantábrico, lo que ha favorecido el desarrollo de un área metropolitana estructurada en ejes a lo largo de estas vías. En tercer lugar, un importante peso de la actividad industrial y logística que genera flujos de movilidad motorizada que movilizan trabajadores desde sus residencias en la ciudad central hasta la periferia donde se encuentran los centros de trabajo.

Infraestructuras viarias

Las infraestructuras viarias son las arterias que articulan los movimientos sobre los que se basan muchos de los intercambios de personas y mercancías, dinero e información que ocurren en el entorno urbano. Además, constituyen espacios de interacción social, lo que da idea de su trascendencia que va más allá de la esfera económica adentrándose en la esfera social.

La red de carreteras en el área metropolitana de Zaragoza presenta una clara estructura radial compuesta por seis corredores que desembocan en la ciudad de Zaragoza, concretamente en el anillo de circunvalación (Z-40). Estos corredores son:

- Corredor norte (Ctra. De Huesca)

- Corredor este (Ctra. Barcelona)
- Corredor Sureste (Ctra. Castellón)
- Corredor Sur (Ctra. Valencia)
- Corredor Sureste (Ctra. Madrid)
- Corredor Oeste (Ctra. Logroño)

La mayoría de estos corredores están integrados por un eje principal donde se sitúan esencialmente infraestructuras de alta capacidad. La excepción la marcan el corredor norte y el este donde además de dicho eje principal se identifican otros ejes secundarios. Para visualizar la distribución de estos corredores consulte la Figura 3.1, y para obtener información detallada sobre su composición, población asociada e infraestructuras consulte la Tabla 3.1.

En cuanto a la red viaria de la ciudad de Zaragoza, la heterogeneidad del entramado de sus calles, resultado de su evolución histórica, queda recogida en el Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Zaragoza (2019) en adelante PMUs mediante una estratificación de calles en tres grandes niveles jerárquicos atendiendo a sus características morfológicas, funcionales y territoriales:

- Red estructurante: se constituyen como las vías de mayor capacidad de la red urbana. Su función es la de “dirigir el tráfico de paso y reparto a nivel de ciudad” (Ayuntamiento de Zaragoza, 2007).
- Vías distribuidoras: canalizan el flujo desde las vías pacificadas hasta las vías estructurantes dando servicio a un sector concreto de la ciudad.
- Vías pacificadas: se trata del resto de calles conformados por viales interiores que no reciben tráfico motorizado de paso.

Infraestructuras ferroviarias

La red ferroviaria en el área de estudio, excluyendo a la red de Alta Velocidad que por su propia naturaleza no presta servicios entre municipios del área metropolitana, presenta un esquema radial, exhibe un patrón radial, estrechamente relacionado con el diseño de la red de carreteras, aunque se caracteriza por una estructura más básica, compuesta por cuatro ejes principales. Estos son:

- Eje Norte: Constituido por la convergencia de las líneas Zaragoza-Tardienta-Lérida y Zaragoza-Huesca-Canfranc.
- Eje Suroeste: Compuesto por la línea Zaragoza-Caspe-Barcelona
- Eje Sur: Integrado por la línea Zaragoza-Teruel-Sagunto.
- Eje Oeste. Formado por las líneas Zaragoza-Madrid y Zaragoza-Castejón de Ebro-Alsasua/Miranda de Ebro que circulan solapadas entre Zaragoza y Casetas, separándose dentro del área de estudio.

Estos cuatro ejes quedan unidos por un túnel subterráneo que permite que trenes de pasajeros circulen bajo la ciudad de Zaragoza, enlazando las estaciones de Delicias y Miraflores, con dos estaciones intermedias subterráneas Portillo y Goya. Sin embargo, esta infraestructura presenta problemas de capacidad ya que cuenta con una sola vía en ancho ibérico.

Otra dificultad inherente a esta red es la ubicación excéntrica de las estaciones con respecto a los centros urbanos, ya que muchas de ellas se encuentran en la periferia o en sus inmediaciones. Únicamente las estaciones de Utebo, Villanueva de Gállego y María de Huerva cuentan con una ubicación óptima.

Además del ferrocarril convencional, la ciudad de Zaragoza inauguró en 2011 una línea de tranvía de 12,8 kilómetros de longitud que recorre la ciudad desde el barrio de Parque Goya, al norte, pasando por el centro, hasta Valdespartera en el Sur. (Martín et al., 2014; Tranvías de Zaragoza, s. f.-a).

3.3 Servicios de transporte público

3.3.1 Servicios de transporte público del entorno de Zaragoza

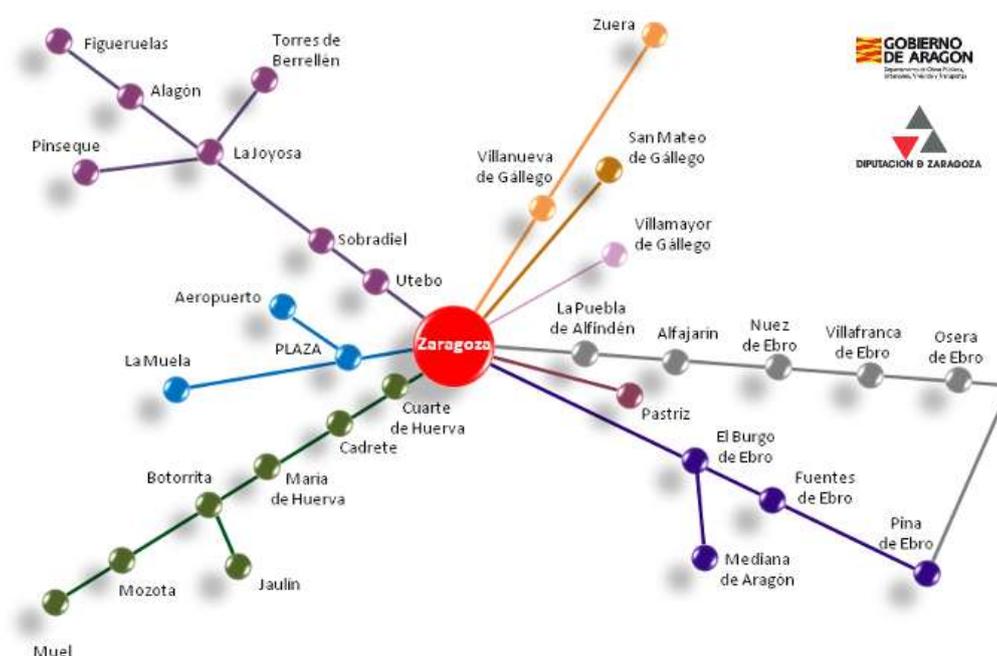
El carácter rururbano del área metropolitana de Zaragoza, con una población considerablemente menor que otras áreas metropolitanas españolas, ha generado dificultades en la provisión de servicios de transporte colectivo. Como resultado, la red de transporte metropolitano exhibe líneas con un número de frecuencias diarias relativamente limitado y una estructura notablemente radial. Además, la falta de coordinación horaria entre los servicios de distintas compañías dificulta los trasbordos (Loscertales Palomar et al., 2015).

En el año 2007 se creó el Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza al que se le confirieron las funciones de “programación de las infraestructuras y reordenación de los

servicios de transporte de interés metropolitano” (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza et al., 2016). El nacimiento de este organismo supuso en la práctica dotar a la red de autobuses metropolitanos de entidad propia, generando una red unificada y más equilibrada.

El Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza está integrado por un total de 30 municipios, incluyendo el municipio de Zaragoza, con una población total de 781.825 habitantes, de los cuales 106.826 residen fuera del término municipal de Zaragoza (Instituto Aragonés de Estadística, 2019). En el año 2022, las líneas metropolitanas registraron un total de 5,3 millones de viajes, mientras que el transporte urbano de Zaragoza alcanzó los 98,2 millones (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza, 2023).

Figura 3.3: Mapa esquemático de los municipios atendidos por el consorcio de transportes.



Fuente: (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza, 2022). Elaboración propia.

Este organismo ha asumido la gestión de las líneas de transporte en la mayoría de los municipios dentro de esta área, abarcando tanto las conexiones con barrios rurales como aquellas líneas autonómicas que sirven al entorno de Zaragoza. Como resultado, se ha observado una mejora en el servicio en varios municipios metropolitanos, lo que ha contribuido parcialmente a mitigar una de las principales disparidades de la red de transporte metropolitana, que era la existencia de niveles de servicio diferenciados entre

los núcleos pertenecientes al término municipal de Zaragoza, tradicionalmente favorecidos con un mayor respaldo financiero, y el resto de municipios.

Tabla 3.3: Líneas del Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza.

<i>Ámbito</i>	<i>Corredor</i>	<i>Línea</i>	<i>Municipios atendidos</i>	
Municipios metropolitanos	Norte	L110 Zaragoza- Zuera	Villamayor de Gállego y Zuera	
		L111 Zaragoza-San Mateo de Gállego	Villanueva de Gállego y San Mateo de Gállego	
		L201B Zaragoza-Pastriz	Movera y Pastriz	
	Este	LZaragoza-Villamayor de Gállego	Villamayor de Gállego	
		L211 Zaragoza-Pina de Ebro (Por N-II)	La Puebla de Alfindén, Alfajarín, Nuez de Ebro, Villafranca de Ebro, Osera de Ebro, Pina de Ebro	
	Sureste	L310 Zaragoza – Pina de Ebro (Por Fuentes)	La Cartuja Baja, El Burgo de Ebro y Fuentes de Ebro	
	Sur	L410 Zaragoza – Cuarte de Huerva	Cuarte de Huerva	
		L411 Zaragoza - Botorrita	Cuarte de Huerva, Cadrete, María de Huerva y Botorrita	
	Suroeste	L510 Zaragoza – La Muela	La Muela	
	Oeste	L610 Zaragoza – Torres de Berrellén	Utebo, Casetas, Sobradiel, La Joyosa y Torres de Berrellén	
L611 Zaragoza - Pinseque		Utebo, Casetas y Pinseque		
Barrios rurales	Norte	L101 Zaragoza – Zorongo	San Gregorio y Urbanización El Zorongo	
		L102 Zaragoza – San Juan de Mozarrifar	San Gregorio y San Juan de Mozarrifar	
	Este	L201 Zaragoza – Movera	Movera	
	Suroeste	L501 Zaragoza - Aeropuerto	Polígono Plaza y Aeropuerto	
		L601 Zaragoza – Torres de San Lamberto	Urb. Torres de San Lamberto	
	Oeste	L602 Zaragoza – Monzalbarba – Utebo	Venta del Olivar, Monzalbarba, Utebo y Alfocea	
		L603 Zaragoza – Casetas	Venta del Olivar, Utebo y Casetas	
		L604 Zaragoza – Garrapinillos	Garrapinillos	
			L605 Zaragoza - Villarrapa	Venta del Olivar, Utebo, Casetas y Villarrapa

Fuente:(Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza, 2023) .Elaboración propia

A pesar de esto, la mayoría de los barrios rurales continúan contando con líneas que operan con una frecuencia regular de 30 minutos, una situación que solo se replica en tres municipios adicionales: Utebo, Cuarte de Huerva y Villamayor de Gállego.

Un desequilibrio adicional presente en la red es que la mejora de frecuencias de las líneas del consorcio todavía no se ha extendido a todos los municipios del área. Aún están

pendientes de integrar los servicios de algunas líneas cuya concesión corresponde al Gobierno de Aragón, como es el caso de las que prestan servicio en los municipios de Alagón, Figueruelas y Muel, entre otros. Esta situación también afecta a todos aquellos servicios de titularidad autonómica que tienen origen o destino fuera del área metropolitana, y que funcionan como servicios pasantes, con poca o nula coordinación con la red metropolitana, algo que el nuevo mapa concesional aspira a resolver (Departamento de Vertebración del Territorio, Movilidad y Vivienda: Gobierno de Aragón, 2021).

Los servicios ferroviarios del área incluyen tanto trenes regionales como de cercanías. Los trenes regionales ofrecen entre dos y seis servicios diarios en cada dirección, variando según la línea. En cuanto a la red de cercanías de Zaragoza, es la más reducida del país, contando únicamente con dos estaciones fuera de la propia ciudad: Casetas y Utebo. En estos casos, la oferta de trenes es mayor, con uno o dos servicios por hora, aunque la frecuencia no es uniforme. En general, la intermodalidad es muy limitada debido a la falta de coordinación de horarios y a las diferencias en la ubicación de estaciones y paradas de autobús.

3.3.2 Servicios de transporte público de la ciudad de Zaragoza

Actualmente la ciudad de Zaragoza se caracteriza por una red de transporte público bien consolidada, compuesta por una estructura mallada, con un importante número de líneas, unas frecuencias de paso elevadas y una buena cobertura territorial. En concreto, el sistema está compuesto por 1 línea de tranvía, 36 líneas diurnas y 7 líneas nocturnas que funcionan en vísperas de festivo. Según el diagnóstico realizado en la Revisión del Plan de Movilidad Urbana de Zaragoza (2019) la cobertura de la red de transporte urbano es muy elevada, pues un 97,5% de la población de la ciudad de Zaragoza tiene una parada a una distancia inferior a 300 metros de su residencia, cifra que se incrementa al 99,5% si se amplía el rango hasta los 500 metros.

Además de disponer de una parada cercana, para un buen servicio de transporte público es necesario que esa parada esté adecuadamente atendida. En relación a este aspecto, se observa que un 57% de las líneas poseen un intervalo de paso medio ponderado por kilómetro inferior a los 10 minutos, y un 31% inferior a los 7 minutos, (Ayuntamiento de Zaragoza, 2019). Esto implica tiempos medios de espera de 5 y 3 minutos y medio respectivamente, se trata, por tanto, de tiempos de espera muy competitivos.

El citado documento, aludiendo a datos del operador de transportes, indica que las líneas de autobús presentan recorridos útiles: “El 40% de las relaciones analizadas [entre

36 barrios y 21 centros atractores] son directas con un intervalo de paso promedio de 4 minutos” (p. 6). Lógicamente, las zonas que resultaban mejor servidas eran el centro y el casco antiguo, que alcanzan de manera directa al 95% de los puntos de interés.

La red de transporte público de Zaragoza movió a 98 millones de usuarios en 2022 (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza, 2023). Este elevado número de usuarios provoca que sea la cuarta ciudad española con más desplazamientos en bus urbano y la segunda por desplazamientos en tranvía (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019, p. 19).

El motivo principal de los desplazamientos en el transporte urbano de la ciudad es la movilidad obligada, principalmente, trabajo y estudios, que conjuntamente copan el 51% del total. La razón más habitual para utilizar el autobús es la no disponibilidad de vehículo privado (55%) del total. Sin embargo, un 45% del total de usuarios utilizan el autobús como elección frente a otros modos. (Ayuntamiento de Zaragoza, 2019, p. 11). Existe, por tanto, una proporción importante de la población que no son usuarios cautivos de este servicio, sino que deciden moverse en este medio de transporte por diferentes razones entre las que el citado documento destaca “la combinación de políticas de restricciones de aparcamiento y de potenciar la calidad del transporte público”.

El único corredor de Alta Capacidad disponible en la actualidad es la línea 1 de tranvía que articula los desplazamientos norte-sur de la ciudad atravesando el centro de la misma. Este eje diametral concentró 24,3 millones de viajes en 2022 (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza, 2023) consolidándose como el principal corredor de transporte urbano. El resto de la ciudad es servida por la red de autobuses urbanos (véase Figura 3.4). La revisión del Plan de Movilidad Urbana de 2019 clasifica las 36 líneas de autobuses que operan en la ciudad en siete categorías distintas, según sea su recorrido.

a) Líneas diametrales y líneas radiales; ambas constituyen el núcleo de la red ya que canalizan los flujos radiales que son los de mayor magnitud con una proporción del 62% sobre el total. Las líneas radiales sirven para comunicar un barrio periférico con el centro de la ciudad, y las diametrales, actúan como dos radiales unidas comunicando dos barrios ubicados en extremos opuestos a través del centro de la ciudad.

Figura 3.4: Mapa de líneas de autobús urbano de Zaragoza (2022).



Fuente:(AVANZA Zaragoza, 2022).

b) Líneas circulares, líneas transversales y líneas transversales-ortogonales; todas ellas presentan recorridos que no atraviesan el centro permitiendo pasar de una red radial a una red mallada. Las líneas circulares presentan un recorrido en forma de anillo alrededor del centro, las segundas comunican diferentes barrios entre sí bordeando o sin pasar por el centro, y las terceras presentan recorridos muy similares a las anteriores pero que son canalizados por algún eje urbano específico.

c) Líneas cortas y líneas alimentadoras del tranvía; ambas presentan recorridos cortos, periféricos orientados a alimentar el resto de la red mediante transbordo. Son útiles a la hora de acercar zonas periféricas de la ciudad a barrios próximos con mejor cobertura de transporte.

La Tabla 3.4 presenta las principales características de cada tipo. En el Apéndice A Tipología y frecuencias de las líneas de transporte urbano, se pueden consultar las frecuencias de estas líneas.

Tabla 3.4: Principales características de las líneas de autobús urbano según tipología

<i>Tipo de recorrido</i>	<i>Líneas</i>	<i>Demanda anual Año 2015 (%)</i>	<i>Kilómetros anuales Año 2015 (%)</i>	<i>IPK</i>
Diametral	21, 22, 23, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 51	53,7%	45,2%	5,5
Radial	25, 28, 29, 30, 40, 41, 52, 60	11,1%	16,9%	2,9
Circular	Ci1, Ci2	8,6%	5,1%	6,8
Transversal	31, 50, 53,	6,5%	6,2%	4,2
Transversal- Ortogonal	24, 36, 42, 44, C4	18,3%	17,2%	5,6
Barrio	43, C1	0,5%	0,5%	3,6
Lanzadera	54, 55, 56, 57, 58, 59	1,2%	8,8%	1,1
Tranvía				
TOTAL	36 líneas	100%	100%	4,8

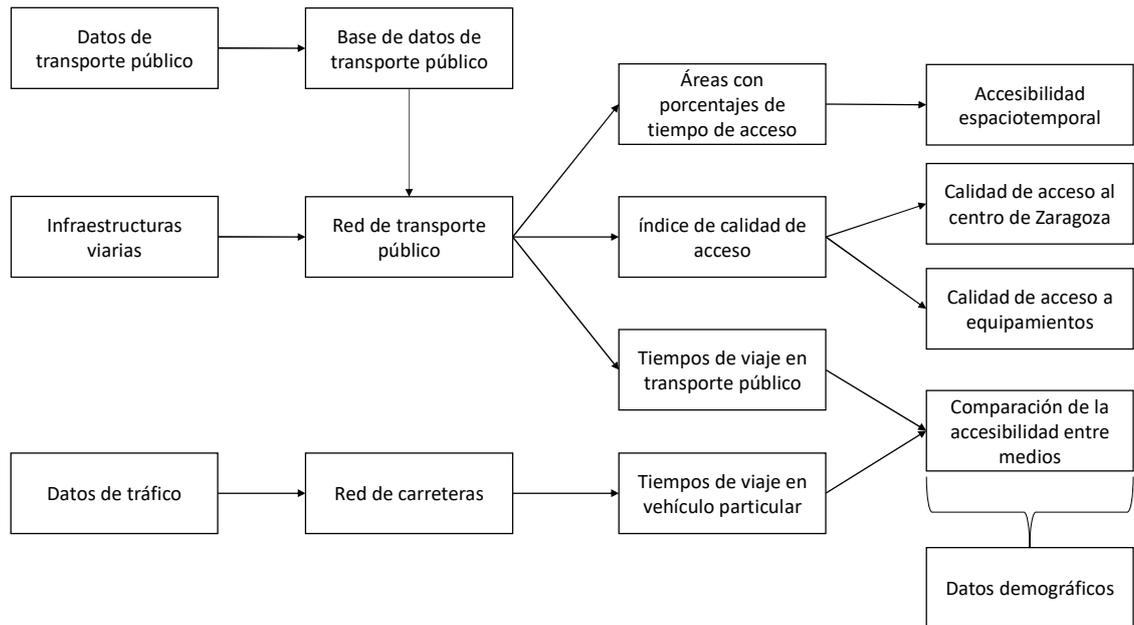
Fuentes: AVANZA Zaragoza (2020b); Ayuntamiento de Zaragoza (2019, pp. 8-13). Elaboración propia. Nota: IPK = Índice de Pasajeros Kilómetro.

En resumen, podemos ver como el área metropolitana de Zaragoza cuenta en su conjunto con buenas infraestructuras de transporte. En lo referente al transporte público, la ciudad de Zaragoza presenta un buen nivel de servicio, hecho que se constata en los elevados niveles de oferta y demanda anteriormente descritos. Por el contrario, en la corona metropolitana la demanda de los mismos es menor debido a su carácter rururbano. En este espacio la oferta es desigual, siendo adecuada en los barrios rurales pertenecientes al Término Municipal de Zaragoza, y escasa e irregular en el resto de los municipios del área.

Capítulo 4. Metodología y Datos

En esta tesis doctoral se examina la accesibilidad geográfica por medios motorizados del entorno de Zaragoza a doble escala: urbana y metropolitana. Esta exploración constará de dos grupos de análisis independientes. Por un lado, se examinará la accesibilidad en transporte privado, y por otro, en transporte público.

Figura 4.1. Diseño metodológico de la investigación



Elaboración propia.

Los análisis se inician mediante la creación de una base de datos de transporte público conforme al estándar GTFS (véase Tabla 3.1). Esta base de datos incluye los horarios y los tiempos de parada de todas las expediciones dentro del área de estudio. Utilizando esta información se configura un conjunto de datos de red en un sistema de información geográfica lo cual posibilita la modelización de viajes en transporte público.

Posteriormente se ejecutan diversos procedimientos analíticos utilizando esta red. El primero de ellos consiste en calcular el porcentaje de tiempo en el que un área es accesible desde el centro de Zaragoza para varios umbrales temporales. El segundo implica la creación de un índice de calidad de acceso que combina el mencionado porcentaje de tiempo con la duración del trayecto hasta dicho espacio. Este segundo análisis, se lleva a cabo tanto para el centro de Zaragoza, como para varios equipamientos, en concreto, centros de salud, hospitales y campus universitarios. Finalmente, el último análisis se

centra en calcular el tiempo de viaje promedio hasta el centro de Zaragoza, con el propósito de compararlo con el transporte privado.

En relación con la accesibilidad en vehículo particular, en primer lugar, se recolectan datos empíricos de tráfico privado para una serie de ubicaciones en el entorno de Zaragoza. Para este fin, se desarrolla un programa en el lenguaje de programación *Python* que extrae datos de la API JavaScript de Google. A partir de esta información y utilizando un conjunto de datos de red que modela el sistema de carreteras, se calculan los tiempos de viaje promedio en vehículo privado. Estos tiempos de viaje se utilizan para realizar comparaciones con los obtenidos para el transporte público. Finalmente, se integran todos estos resultados con las características sociodemográficas de la población del área.

En consecuencia, los resultados permiten conocer las diferencias en el nivel de accesibilidad de perfiles de movilidad distintos: el perfil de movilidad motorizado, que se relaciona con la accesibilidad en transporte privado, y el perfil de movilidad no motorizado. Este último se corresponde con el de todas aquellas personas que, por diversos motivos, no pueden desplazarse en vehículo privado de manera autónoma y, por lo tanto, dependen del transporte público.

4.1 Fuentes de datos

Tabla 4.1. Principales fuentes de datos de la investigación.

Naturaleza del dato	Fuente	Formato o Modelo de datos	Tratamiento	Resultado
Transporte público	API CTAZ, web Avanza Zaragoza, Aragón Datos Abiertos (Gobierno de Aragón) y Renfe	Texto en formato CSV, Texto en formato JSON y PDF	Creación de conjunto de datos o <i>feed</i> en formato GTFS a través de programas de <i>Python</i>	Expediciones de transporte público en formato GTFS
Transporte privado	API Google Maps	Texto en formato JSON	Adecuación mediante programas de <i>Python</i>	Tiempo de desplazamiento en vehículo privado
Infraestructuras viarias	IGN y OpenStreetMap	Vectorial	Corrección topológica usando sDNA	Red de transporte motorizado
Población	INE	Texto en formato CSV	Integración en SIG	Tablas de características sociodemográficas

Los datos recopilados para este estudio abarcan cuatro áreas temáticas: transporte público, transporte privado, infraestructura vial y características sociodemográficas de la población.

4.1.1 Datos de transporte público

Debido a la variedad de operadores de transporte público presentes en el área metropolitana de Zaragoza, los datos relacionados con esta materia se han recopilado de diversas fuentes. Los dos operadores más destacados son Avanza Zaragoza y el Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza, responsables de operar las líneas de autobús urbano y metropolitano, respectivamente.

Para los autobuses urbanos, se han obtenido los datos del propio sitio web de la empresa (AVANZA Zaragoza, 2020a) donde se puede acceder a información sobre líneas, tiempos y horarios. En cuanto a los autobuses metropolitanos, se ha utilizado la API proporcionada por el Consorcio metropolitano de transportes (Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza, 2020) que contiene toda la información relativa a estos servicios.

La siguiente compañía en volumen de expediciones es Renfe Operadora. Para acceder a los datos relacionados con los servicios ferroviarios que administra, se han empleado dos conjuntos de datos de la empresa pública, siguiendo el estándar de datos GTFS para líneas de cercanías (Renfe Operadora, 2020a) y media distancia (Renfe Operadora, 2020b).

Por último, existen cuatro empresas de transporte de autobuses que operan líneas bajo concesiones del Gobierno de Aragón. En estos casos, la principal fuente de datos ha sido el banco de datos Aragón Datos Abiertos (Gobierno de Aragón, 2020) aunque también se adquirió cierta información a través de las páginas web de las propias empresas de transporte que operan en el área, tales como Agreda Automóvil, Autobuses Jiménez, Autocares Therpasa y Avanza.

Los datos recopilados se han utilizado para construir una base de datos conforme a los requisitos definidos por la especificación de datos GTFS estática. La estructura y el proceso de desarrollo de esta base de datos se detallan en la sección 4.2 .

4.1.2 Datos de tráfico privado

La segunda fuente de datos utilizada en esta investigación consiste en información relativa al tráfico vehicular privado. Estos datos se han obtenido a través de la interfaz de programación de aplicaciones (API) de Google Maps Javascript (Google, 2019). La

principal ventaja de esta fuente de datos radica en su capacidad para proporcionar estimaciones precisas de los tiempos medios de tráfico, dado que se derivan directamente de las ubicaciones registradas por dispositivos móviles que cuentan con los servicios de Google instalados.

En lo referente a este estudio el servicio que se va a utilizar es el de Matriz de distancia, denominado *Distance Matrix*. Este servicio posibilita el cálculo de la duración y distancia de los desplazamientos entre un conjunto de orígenes y destinos definido previamente. La solicitud de la matriz de distancia, cuyo objeto contenedor se denomina *DistanceMatrixRequest*, se enviará al mencionado servicio *Distance Matrix*. La Tabla 4.2 presenta los campos de este objeto que se emplean en este estudio, así como, su configuración para modelar el desplazamiento de un vehículo particular en condiciones de tráfico normales.

Tabla 4.2: Estructura del objeto de consulta al servicio matriz de distancia.

<i>Campo</i>	<i>Tipo de Campo</i>	<i>Descripción</i>
<i>origins</i>	Obligatorio	Contiene todos los orígenes de la matriz.
<i>destinations</i>	Obligatorio	Contiene todos los destinos de la matriz.
<i>travelMode:</i>	Opcional	Determina el modo de transporte que se empleará en el análisis. En el contexto de este estudio, se configurará este campo como “ <i>DRIVING</i> ”, ya que es el parámetro necesario para establecer una ruta en automóvil.
<i>drivingOptions</i>	Opcional	Se requiere sólo si se ha elegido el automóvil como modo de transporte. Recoge la hora de salida cuestión que influye en las condiciones de tráfico esperadas. Este objeto consta a su vez de dos campos: <i>departureTime</i> y <i>trafficModel</i> .
<i>departureTime</i>	Forma parte de <i>drivingOptions</i>	Establece la hora de inicio del desplazamiento.
<i>trafficModel</i>	Forma parte de <i>drivingOptions</i>	Indica las presunciones que se tomarán en cuenta al calcular el tiempo del vehículo en el tráfico. Se puede definir como: <ul style="list-style-type: none"> • <i>bestguess</i>: refleja condiciones medias de fluidez del tráfico. • <i>Optimistic</i>: refleja condiciones mejores que la media de fluidez del tráfico • <i>Pesimistic</i>: rMEefleja condiciones peores que la media de fluidez de tráfico.

Fuente: Servicio Matriz de Distancia (Google, 2019). Elaboración propia

Una vez enviada esta solicitud se obtendrá una respuesta del servicio *DistanceMatrix* El objeto *DistanceMatrixResponse* contiene información sobre la distancia y la duración de cada par origen y destino. Los campos que se admiten en la respuesta quedan recogidos en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Estructura del objeto respuesta del servicio matriz de distancia.

<i>Campo</i>	<i>Tipo de campo</i>	<i>Descripción</i>
--------------	----------------------	--------------------

<i>originAddresses</i>	Array	Conjunto de ubicaciones de origen que provienen del campo <i>origins</i> de la solicitud de Matriz de distancia.
<i>destinationAddresses</i>	Array	Conjunto de ubicaciones de destino que provienen del campo <i>destinations</i> de la solicitud de Matriz de distancia.
<i>rows</i>	Array	Conjunto de objetos <i>DistanceMatrixResponseRow</i> en el que cada fila corresponde a un origen.
<i>elements</i>	Array que forma parte de <i>rows</i>	Se corresponde con los elementos secundarios de <i>rows</i> y contienen información para cada para origen destino. Sus campos principales son:
<i>duration</i>	Valor que forma parte de <i>elements</i>	Indica el tiempo que un vehículo tarda en recorrer esta ruta origen-destino, expresado en segundos.
<i>status</i>	Valor que forma parte de <i>elements</i>	Muestra el estado de la consulta permitiendo conocer si esta ha sido válida.
<i>distance</i>	Valor que forma parte de <i>elements</i>	Distancia total de la ruta, medida en metros.

Fuente: Servicio Matriz de Distancia (Google, 2019). Elaboración propia.

4.1.3 Datos de infraestructuras viarias

En este estudio, la infraestructura vial sirve como punto de partida para simular los desplazamientos a pie desde y hacia las paradas de transporte. Por consiguiente, el propósito de esta red vial es calcular el tiempo dedicado a caminar como parte integral de un viaje de puerta a puerta en transporte público.

Existen diferentes grafos de red disponibles para el área metropolitana de Zaragoza. Estos contienen información geográfica en formato vectorial con el trazado de caminos y calles. Dichos elementos son articulables en una red de transporte en la que ejercerán, o bien, como nodos, o bien, como ejes. De entre ellos se pueden distinguir tres grandes grupos con diferentes características:

Los grafos comerciales (TomTom, Google, etc.) presentan las mejores características técnicas ya que están actualizados, carecen de errores topológicos y cuentan con gran cantidad de atributos como dirección del grafo, velocidades, giros prohibidos para vehículos u otros atributos. Se utilizan principalmente para navegación y permiten el modelado del transporte privado directamente sobre la red. Sin embargo, se trata de redes comerciales privadas cuyo elevado coste económico lo hace poco viable para esta investigación.

La red viaria del Instituto Geográfico Nacional (IGN), es una red de carácter lineal 3D publicada conforme a las especificaciones de la Directiva INSPIRE, por lo que se trata de una red de carácter oficial, abierta a uso público y con una buena calidad topológica (Centro Nacional de Información Geográfica, 2020). En concreto, la capa de viario es uno

de los componentes de una red multimodal más amplia que también incluye ferrocarriles, transporte aéreo, vías navegables, e incluso, transporte por cable. Dicha capa recoge el trazado de todas las calles, carreteras, autovías y autopistas, así como, de los principales caminos rurales de España. Para cada uno de estos elementos contiene varios atributos tales como: nombre, clase de vial, sentido o tipo de vehículos admitidos, entre otros. En contraparte, se trata de una red diseñada desde la óptica de la circulación motorizada, y que no contiene itinerarios puramente peatonales como aceras, senderos de parques y jardines, plazas, pasarelas etc., a excepción de calles peatonales en espacios urbanos.

La red de OpenStreetMap (OSM) es una base de datos geográfica de escala mundial editada y mantenida por una comunidad de voluntarios (OpenStreetMap Contributors, 2019). Sus principales ventajas son la libertad de uso de sus datos, la gratuidad de estos y su actualización constante. Además, presenta información referente a itinerarios peatonales como pueden ser aceras, parques o jardines, superando al resto de fuentes citadas en este sentido. Por el contrario, los principales inconvenientes son que al tratarse de datos colaborativos el nivel de detalle de estos varía según el lugar y la calidad de estos es menor a la de las fuentes anteriormente citadas. En concreto, el área de estudio presenta un buen nivel de desarrollo en la plataforma, aunque este es mayor para la ciudad de Zaragoza que para los municipios del entorno. En cuanto a la calidad de los datos estos inconvenientes pueden ser compensados mediante un proceso de corrección topológica. Es por ello por lo que OpenStreetMap ha sido ya ampliamente utilizada en la literatura científica para diversos usos. (Cich et al., 2016; Felicio et al., 2022; Mahajan et al., 2022).

La única fuente oficial accesible para esta investigación es la red proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Sin embargo, esta red presenta la limitación de no incluir itinerarios peatonales importantes, como plazas, parques o jardines, que son relevantes en algunos entornos urbanos. Por otro lado, dichos itinerarios sí han sido ampliamente mapeados por la comunidad de OpenStreetMap (OSM). Dado que la accesibilidad peatonal a la red de transporte público es un tema crucial en este estudio se decide crear una tercera red para la investigación, que se basa en la red del IGN, pero se complementa con la red de OSM para los espacios peatonales como parques y jardines, realizando el pertinente proceso de corrección topológica.

4.1.4 Datos sociodemográficos de la población del área de estudio

La fuente de los datos analizados ha variado en función del ámbito de estudio. En el ámbito urbano se han utilizado datos de población y características sociodemográficas a escala de portal. Estos datos provienen de la Cátedra Territorio, Sociedad y Visualización Geográfica (Pueyo Campos, 2020), los cuales a su vez fueron obtenidos del Observatorio Municipal de Estadística del Ayuntamiento de Zaragoza.

En cuanto a los datos metropolitanos, no se ha logrado obtener información detallada por portales, por lo que la escala de análisis se limita a la sección censal. Esta limitación no representa un gran inconveniente debido al tamaño relativamente pequeño de la mayoría de los municipios del entorno de Zaragoza. Estos datos se han recopilado del Instituto Nacional de Estadística (INE) según temática. Los datos demográficos se han obtenido a partir del Padrón Continuo del Instituto Nacional de Estadística (Instituto Nacional de Estadística, 2020b), a nivel de unidad poblacional. Mientras que los datos de ingresos por sección censal se han extraído del Atlas de Distribución de la Renta de los Hogares (Instituto Nacional de Estadística, 2020a).

4.2 Tratamiento de datos

4.2.1 La especificación de datos GTFS estática

El General Transit Feed Specification (GTFS) es un estándar de datos de carácter abierto utilizado para distribuir información relevante sobre los sistemas de transporte colectivo. Esta especificación de datos fue concebida por Bibiana McHugh quien trabajaba como gerente en la agencia de transporte TriMed en Portland (Estados Unidos). Esta especificación surgió como respuesta a la necesidad de ofrecer información estandarizada que mejorara la planificación de viajes en transporte público y pudiera competir con los servicios de mapas que ya por aquel entonces tenían muy desarrollada la información sobre direcciones de conducción.

Su lanzamiento se produjo mediante un acuerdo de colaboración de TriMed y Google en el año 2005. En un primer momento se denominaron Google Transit Feed Specification, nombre que se modificó en 2010 por General Transit Feed Specification al tratarse de un formato abierto. En el año 2012 se introdujo una nueva especificación conocida como GTFS-realtime o GTFS-RT que no se basa en horarios de transporte, sino en datos reales provenientes de los sistemas de GPS de los vehículos de transporte público. Desde entonces, a la especificación de datos que nos ocupa en esta investigación, se le denomina GTFS estático o GTFS Schedule (McHugh, 2013).

Utilidades de los datos GTFS

La adopción del estándar de datos GTFS estático fue excepcionalmente rápida, reflejando su relevancia significativa en la esfera del transporte público. Aaron (2012), apenas siete años después de su instauración, proporciona un detallado análisis de las diversas aplicaciones prácticas derivadas de este estándar. A continuación, se presentan los usos más destacados mencionados por el autor, en conjunto con ejemplos ilustrativos. Además, se complementan estos ejemplos con otras herramientas que han emergido en el período transcurrido hasta la fecha actual.

- **Aplicaciones de planificación de viajes y visualización de mapas:** Es el uso para el que fueron creados, ayudar a los usuarios de transporte público a planificar sus viajes. Entre las aplicaciones más utilizadas se encuentran Google Maps, Open Trip Planner o Bing Maps. Algunas de estas aplicaciones también abarcan el transporte aéreo, como Rome2Rio.
- **Aplicaciones de viajes compartidos:** Ayudan a los usuarios a conectar con posibles coincidencias para compartir viajes. Algunas plataformas incluso permiten complementar el transporte público con rutas de uso compartido de automóviles, como Parkio. Posteriormente, han surgido otras como Blablacar.
- **Herramientas de generación de horarios:** Permiten elaborar una tabla de horarios de una agencia de transporte. Un ejemplo sería TimeTablePublisher que genera tablas de horarios para su publicación en páginas web.
- **Aplicaciones Móviles:** Se han desarrollado multitud de aplicaciones diseñadas para dispositivos móviles que ofrecen información sobre el transporte público. Google Maps y Transit App son citadas por el autor como ejemplos destacados. Estas aplicaciones han experimentado un notable desarrollo en los últimos años, destacándose especialmente el planificador de viajes en transporte público Moovit.
- **Herramientas de Visualización de Datos:** ofrecen visualizaciones gráficas de rutas de transporte, paradas y datos de horarios. En este contexto, destaca Mapnificent, que muestra hasta dónde es posible viajar en transporte

público desde una ubicación dada para una amplia variedad de ciudades en todo el mundo.

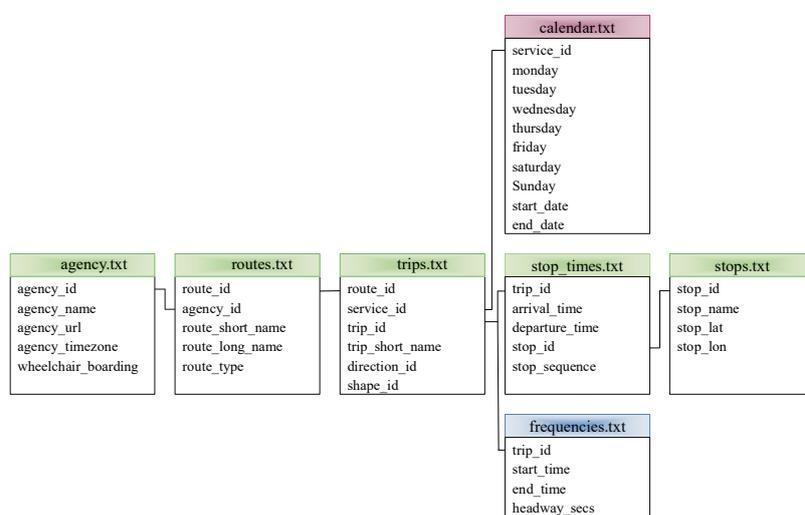
- **Aplicaciones de Accesibilidad:** Su función principal es asistir a pasajeros con discapacidades en la utilización del transporte público. Entre estas aplicaciones se encuentran ejemplos como SenderoGroup BrailleNote GPS, que facilita la localización de paradas de transporte para personas con discapacidad visual, y Travel Assistant Device (TAD), diseñada específicamente para personas con discapacidad visual o intelectual. Esta última aplicación ofrece alertas de audio y vibración para indicar el momento en que el pasajero debe solicitar la parada del autobús.
- **Herramientas de Análisis:** Son aplicaciones que asisten a profesionales del transporte en la evaluación de la red de tránsito actual o planificada. Entre ellas, destacan OpenTripPlanner, que genera mapas de isócronas y proporciona diversas funcionalidades de análisis espacial utilizando datos de transporte público; Graphserver, centrada en la investigación de algoritmos para el análisis de redes de transporte público; y Transit Boardings Estimation and Simulation Tool (TBEST), empleada para la predicción a corto plazo de la afluencia de pasajeros en el transporte público, así como, la realización de análisis de mercado y de accesibilidad de la red.

Estructura de la base de datos de transporte público

La información necesaria para estudiar la accesibilidad espaciotemporal en transporte público presenta una elevada complejidad. Esto se debe a la gran cantidad de características singulares que presenta el transporte público, lo cual demanda un enfoque analítico más elaborado y detallado. Desde una perspectiva geográfica las características fundamentales de este tipo de transporte incluyen su configuración en redes complejas, la limitación de puntos de ingreso o salida del sistema a ubicaciones específicas, correspondientes a las paradas, y la necesidad de efectuar trasbordos para cambiar de una ruta a otra. En términos temporales, es importante destacar que este tipo de transporte no está disponible de manera constante a lo largo del día, sino que opera según horarios predeterminados.

La especificación de datos GTFS se ha convertido en el estándar *de facto* para publicar y compartir información de rutas y horarios de transporte público (Mehndiratta et al., 2014). La versión estática de este estándar permite recoger todo lo necesario para poder modelar la accesibilidad espaciotemporal en transporte público, definiendo un formato común a la hora de tratar horarios e información geográfica asociada a los servicios de transporte colectivo. La base de datos “se compone de una serie de archivos de texto recopilados en un archivo ZIP. Cada archivo modela un aspecto específico de la información de transporte público: paradas, rutas, viajes y otros datos relacionados con los horarios” (Google Transit, 2021).

Figura 4.2: Estructura de la base de datos de transporte público



Fuente: General Transit Feed Specification Reference (Mobility Data, 2020). Elaboración propia

En concreto, un conjunto de datos o *feed* de transporte público bajo la especificación GTFS puede llegar a contener hasta 17 archivos de texto delimitados por comas (Mobility Data, 2020). El conjunto de datos generado para esta investigación cuenta con 7 archivos, de estos 5 ficheros son de carácter obligatorio (representados de color verde en la Figura 4.2). Estos ficheros se enfocan en recoger los aspectos más importantes de la red, como son: agencias de transporte, ubicaciones de paradas, rutas, viajes y horarios. Además, se incluye un archivo condicionalmente obligatorio (representado de color azul), es decir, que sólo debe de incluirse si la red descrita cumple con ciertas características. En concreto, se trata de *calendar.txt* que permite modelar los cambios de horarios según diferentes días de la semana y que ha sido incluido por la existencia de líneas con frecuencias u horarios diferentes según se viaje en día laborable, sábado o domingo. Por último, nuestra base de datos cuenta con un fichero opcional (representado

de color rojo) denominado *frecuencias.txt* que recoge información de rutas de transporte con intervalos de paso regulares sólo siendo necesario cuando el conjunto de datos contiene rutas con este tipo de esquema horario, como ocurre en el transporte urbano de Zaragoza.

Tabla 4.4: Campos de la base de datos de transporte público (I)

Archivo y descripción	Campos	Descripción	Formato o valores	Descripción u observación			
agency.txt	agency_id (id.)	Identificador numérico que refiere a cada una de las agencias de transporte	1	CTAZ			
			2	Avanza Zaragoza			
			3	Los tranvías de Zaragoza			
			4	Renfe Operadora			
			5	Dir. General de Transportes (Gov. Aragón)			
Contiene Información de las agencias de transporte que operan en el área de estudio.	ag_name	Nombre de cada operador	Campo de texto				
	ag_url	Contiene un enlace a la página web cada agencia	Campo de texto				
	ag_timezone	Identifica el huso horario	“Europe/Madrid”				
	ag_lang	Especifica el idioma de la información	“es”	Español			
stops.txt	stop_id (id.)	Distingue de forma unívoca una parada de autobús, tranvía o una estación de ferrocarril	Identificador	Contiene 1555 registros ¹			
				stop_name	Contiene un nombre identificativo de la parada o estación	Campo de texto	Los nombres dados provienen de la agencia de transporte
				stop_lat	Recoge la latitud de la ubicación de la parada	Campo de texto	Utiliza el sistema de referencia de coordenadas WGS 84.
				stop_lon	Recoge la longitud de la ubicación de la parada	Campo de texto	Utiliza el sistema de referencia de coordenadas WGS 84.
calendar.txt	service_id (id.)	Identificador unívoco que sirve como clave primaria para identificar cada uno de los tres tipos de servicios existentes en la base de datos.	L-V	Servicio de lunes a viernes			
			S	Servicio los sábados			
			D-F	Servicio domingos y festivos			
			0	El servicio no circula ese día de la semana			
			1	El servicio circula ese día de la semana			
Define diferentes tipos de servicio en función del día de la semana o la época del año	monday, tuesday, wednesday, thursday, friday, saturday, sunday	Conjunto de campos que codifican si el servicio circula dicho día de la semana.					
	start_date	Fecha inicio del periodo de validez de los datos	Formato fecha				
	end_date	Fecha fin del periodo de validez de los datos	Formato fecha				

Elaboración propia.

¹ De estos 1.555 registros 917 corresponden al servicio urbano, 555 al servicio del CTAZ, 48 al tranvía, 22 a líneas concesión del gobierno de Aragón y 13 a estaciones de ferrocarril.

Tabla 4.5: Campos de la base de datos de transporte público (II).

Archivo y descripción	Campos	Descripción	Formato o valores	Descripción u observación
routes.txt recoge la tabla con las diferentes rutas existentes en el área tal y como son definidas por las agencias de transporte	route_id (id.)	Identificador unívoco para cada uno de los registros de la tabla de rutas.	Identificador	Cuenta con 86 registros diferentes
	agency_id (ex.)	Permite asociar la información de cada una de las rutas con los datos de su respectiva agencia.	Clave externa	
	route_short_name:	Recoge un nombre corto para cada ruta	Formato texto	Coincide con la numeración o nomenclatura dada a estas líneas por sus respectivas agencias
	route_long_name:	Recoge un nombre largo para cada ruta	Formato texto	Se toman los orígenes y destinos de cada ruta.
	route type	Codifica el medio de transporte que presta servicio en la ruta.	0 2 3	tranvía tren autobús
trips.txt Identifica de manera unívoca los diferentes viajes o expediciones que se realizan en la red ² .	trip_id (id.)	Identifica de forma unívoca cada viaje	Identificador	Contiene 2.666 registros
	route_id (ex.)	Vincula cada viaje a la información de la ruta a la que pertenece	Clave externa	
	service_id (ex.)	Vincula cada expedición a su periodicidad semanal.	Clave externa	
	trip_short_name	Define un nombre corto para cada viaje	Formato texto	
	direction_id	Codifica la dirección de cada expedición.	0 1	Viaja desde el origen al destino indicado en el nombre de la ruta (idas). Viaja desde el destino hasta el origen indicado en el nombre de la ruta (vueltas).

Elaboración propia

Estos documentos de texto forman tablas dentro de una base de datos relacional, cada uno de ellos cuenta con una clave primaria, la cual puede aparecer como clave foránea en otras tablas generando así una vinculación entre la información contenida en los mismos. (Estas conexiones quedan representadas mediante flechas en la Figura 4.2). A su vez, el estándar también unifica la información requerida en los campos especificando tanto su tipo de dato, número, texto, identificador, fecha, hora etc., como su función, existiendo campos obligatorios, condicionalmente obligatorios y opcionales al igual que en el caso de los archivos. La siguiente tabla resume cada uno de los campos que integran la base de datos con indicación de los campos incluidos y las conexiones establecidas.

² La excepción viene marcada por aquellas expediciones de similares características que se realizan en rutas con una frecuencia regular, como ocurre en las líneas de transporte urbano de Zaragoza. Estos últimos viajes quedan recogidos de forma diferente en el fichero frequencies.txt.

Tabla 4.6: Campos de la base de datos de transporte público (III)

Archivo y descripción	Campos	Descripción	Formato o valores	Descripción u observación
frecuencias.txt Recoge aquellas expediciones de igual recorrido dentro de rutas con un intervalo de frecuencia regular	trip_id (ex.)	Sirve para referenciar el viaje sobre el que se van a concretar los intervalos de frecuencia.	Clave externa	Para cada uno de estos viajes existen tantos registros como cambios haya en el intervalo de frecuencias a lo largo del día. Contiene 2.371 registros.
	start_time	Recoge la hora a la que el primer vehículo sale del origen iniciando la primera frecuencia de un conjunto de viajes.	Campo de fecha	
	end_time	Recoge la hora a la que el último vehículo sale del origen iniciando así la última frecuencia de un conjunto de viajes.	Campo de fecha	
	headway_secs	Indica la duración del intervalo de frecuencia entre viajes expresado en segundos.	Campo numérico	
Stop_times El archivo stop_times.txt contiene la información de los tiempos de parada, es decir, del momento preciso en el que un vehículo de transporte público se aproxima a una de las paradas para recoger o dejar pasajeros. Contiene 48.936 registros ya que cada uno de los viajes definidos en trips.txt da lugar a tantos registros, como paradas realice ese viaje.	trip_id (ex.)	Enlaza a el viaje sobre el que se van a dar los tiempos de parada.	Clave externa	
	arrival_time	Recoge el tiempo de llegada de un viaje específico a una parada determinada.	Campo de fecha	Este tiempo puede tener dos significados diferentes. Para los viajes dentro de un horario regular, referenciados en "frecuencias.txt", es la duración desde el inicio del viaje. Para el resto, refiere la hora exacta de llegada a la parada.
	departure_time:	Recoge la hora de partida de dicho viaje en dicha parada.	Campo de fecha	Similar observación al caso anterior
	stop_id (ex.)	Referencia la parada sobre la que se están especificando los tiempos de parada.	Clave externa	
	stop_sequence:	Indica el orden la parada respecto al resto de paradas del mismo viaje.	Campo numérico	

Elaboración propia.

4.2.2 Generación de la base de datos de transporte público

Después de haber explicado detalladamente la estructura de la base de datos, procederemos a describir el proceso utilizado para generarla y poblarla con registros hasta obtener toda la información necesaria en el modelo de datos GTFS. En muchas ciudades las agencias de transporte publican sus datos para su descarga libre, sin embargo, en el caso de Zaragoza no se contaba con esta opción, cuestión que se detallará en la crítica a las fuentes. Por lo tanto, es necesario generar estos datos a partir de la información disponible sobre rutas y horarios para cada agencia de transporte. La cantidad de datos disponibles y su forma de presentación varía mucho de una a otra de forma que, como veremos a continuación, este proceso de generar y poblar la base de datos GTFS ha sido muy desigual en función de cada operador de transporte. A continuación, explicamos dicho proceso para cada agencia.

En primer lugar, hay que mencionar que los datos de los ficheros que contienen los operadores de transporte (*agency.txt*) y los patrones de servicio semanal (*calendar.txt*) fueron generados manualmente al contar únicamente con cinco entidades operadoras y tres modalidades distintas de servicio respectivamente. El resto de los ficheros se generaron de diferente forma para cada operador dada la diferente disponibilidad de datos.

Autobuses urbanos de Zaragoza

En el contexto de las líneas urbanas de autobús en Zaragoza, el proveedor de servicios de transporte público, suministra información en formatos que difieren del estándar exigido tanto en su sitio web oficial (AVANZA Zaragoza, 2020b) como en la interfaz de programación de aplicaciones (API) proporcionada por el Ayuntamiento de Zaragoza.

Los archivos que contienen información sobre las paradas (*stops.txt*), las líneas de transporte (*routes.txt*), las expediciones asociadas a cada línea (*trips.txt*) y sus respectivas frecuencias (*frequencies.txt*) fueron elaborados mediante la recopilación y combinación de datos provenientes de ambas fuentes, utilizando herramientas de hoja de cálculo.

Las líneas de transporte operadas por AVANZA mantienen una frecuencia regular y constante tanto en hora punta como en hora valle, sin embargo, presentan horarios de paso irregulares en las horas iniciales y finales del día. En este sentido, el archivo que registra las frecuencias (*frequencies.txt*) no abarca la totalidad del horario de funcionamiento. Para abordar esta discrepancia se generaron como viajes independientes todos los servicios iniciales y finales en el archivo *trips.txt*, el cual documenta los trayectos

distintos asociados a cada línea. Mientras que para el conjunto de viajes que vienen recogidos en el archivo de frecuencias sólo se derivan dos expediciones diferentes, una en sentido ida y otra en sentido vuelta. Este proceso de ajuste se realizó utilizando nuevamente los datos proporcionados por la página web de AVANZA Zaragoza.

En consecuencia, el archivo que incluye los horarios de parada (*stop_times.txt*) requirió ser generado mediante dos enfoques distintos. Para el caso de los viajes en las horas iniciales y finales de la jornada, se debe proporcionar la hora exacta en que cada expedición arriba a una parada específica como, por ejemplo: 09:22:00. En contraste, para los viajes cuyos horarios se encuentran definidos en el archivo de frecuencias, se especifica el tiempo transcurrido desde el inicio del trayecto como, por ejemplo: 00:22:00, sirviendo para todas las expediciones que se corresponden con esta misma ruta.

Tranvía de Zaragoza:

Al igual que en el caso anterior, el tranvía de Zaragoza también opera con una cadencia de horarios regular por lo que se han generado los datos de forma análoga a la explicada para el caso de los autobuses urbanos de Zaragoza. En este caso todo el tiempo de servicio se ciñe a una frecuencia regular por lo que la cantidad de registros añadida a los documentos *trips.txt* y *stop_times.txt* es mucho menor.

Consortio de transportes del Área de Zaragoza

En el caso del Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza (CTAZ) esta agencia no publica los datos en formato GTFS y además opera gran cantidad de líneas sin una frecuencia regular, sin embargo, publica todos los datos necesarios para generarlos en su API. Para poder obtener estos datos y transformarlos al formato deseado se han utilizado un conjunto de programas o *scripts* en lenguaje *Python* que se describen a continuación. El código original de los programas está disponible en el Apéndice A.

En primer lugar, para recabar la información concerniente a las líneas de transporte del consorcio, destinada a ser incorporada en el archivo *routes.txt*, se elaboró un programa en *Python* denominado *lineas.py*. Este script se sirve de la librería *requests* para invocar la función "*lines*" de la API del CTAZ (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza, 2020), obteniendo así un conjunto de datos que comprende todas las rutas de transporte junto con sus atributos, los cuales son almacenados en un diccionario de *Python*. Posteriormente, el script itera a través de cada uno de los elementos de la respuesta recibida, empleando los atributos "*id*", "*id_linea*" y "*name*" para poblar los campos "*route_id*", "*route_short_name*" y "*route_long_name*" del archivo *routes.txt*,

respectivamente. Además, asigna los valores de los campos "*agency_id*" y "*route_type*" como "1" y "3" en función de la correspondencia con el código asignado al CTAZ en el documento *agency.txt* y con el código asignado al modo de transporte en autobús conforme al estándar GTFS.

La obtención de los datos de las paradas de transporte del CTAZ para *stops.txt* se realiza mediante el programa *paradas.py*. En este caso concreto, la información adquirida incluye todos los atributos requeridos ("*stop_id*", "*stop_name*", "*stop_lat*" y "*stop_lon*"). El script itera a través de cada una de las líneas y, en cada iteración, almacena estos atributos en los campos correspondientes del archivo *stops.txt*.

En relación con las expediciones registradas en el documento *trips.txt*, estas se adquieren mediante la ejecución de un tercer *script* denominado *viajes.py*. Este programa invoca a la función "*routes*" de la API del CTAZ, la cual requiere como parámetro el identificador de línea. Para obtener estos identificadores, se genera una lista mediante la función "*lines*" de la mencionada API, utilizando un procedimiento similar al empleado en el *script* *lineas.py*. Luego, se itera sobre cada una de estas líneas, utilizando su identificador para llamar a la función "*routes*" de la API en cada iteración, descargando así la información de todas las rutas (llamadas viajes en el estándar GTFS) de una línea específica. Entre los atributos de esta información se encuentran "*id*", "*name*" y "*is_return*", que son asignados a los campos "*route_id*", "*trip_short_name*" y "*direction_id*" del documento *trips.txt*. Finalmente, el programa escribe todos estos datos en el mencionado archivo.

En este punto, restan por incluir los campos "*service_id*" y "*trip_id*". El primero se asigna manualmente en función del día de la semana de esa expedición concreta. El segundo se crea de forma manual concatenando el número de agencia, ruta, horario y dirección del viaje. Por ejemplo: 1_2221_LAB_06:00_V.

Finalmente, se recopilan los datos de tiempos de parada del archivo *stop_times.txt* a través del *script* *tiempos_parada.py*. En esta instancia, se empleará la función *times_route* de la API del CTAZ, la cual requiere cuatro parámetros. El primero de ellos corresponde al identificador de la línea, obtenido previamente a través de la función *lines*, conforme a lo detallado en la explicación del programa *lineas.py*. Posteriormente, se inicia un bucle iterativo para cada una de estas líneas, donde se adquieren los tres argumentos restantes. El segundo parámetro se refiere al número de autobús, el cual se establece como '0' dado que

no se dispone de esta información. Los dos últimos parámetros, el tercero y el cuarto, representan la hora de inicio de la expedición en segundos y su dirección, obtenidas mediante la invocación de la función *routes*.

Una vez que se han establecido los cuatro parámetros de la expedición, se procede a invocar la función *times_route*, la cual proporciona los tiempos de parada correspondientes a dicha expedición. Los atributos "*arrival_time*", "*code*" y "*order*" de su respuesta se utilizan para rellenar los campos *arrival_time*, *stop_id* y *sequence_id* del archivo *stop_times.txt*, respectivamente. El campo *departure_time* se completa con el mismo valor que el campo *arrival_time*, mientras que el campo *trip_id* se construye mediante el método de concatenación previamente explicado.

Renfe operadora

Esta es la única agencia de transporte que publica sus datos en formato GTFS, y lo realiza a nivel nacional. De manera que, los horarios de los trenes de regionales y cercanías que circulan por el entorno de Zaragoza han sido extraídos de este conjunto de datos de forma sencilla.

Líneas de autobús titularidad del gobierno de Aragón.

Por último, en el área de estudio, además de los servicios previamente mencionados, también operan algunas líneas de autobús gestionadas por diferentes empresas de transporte bajo concesiones otorgadas por el gobierno de Aragón. Estas empresas publican de forma independiente los datos relativos a horarios y rutas en sus respectivas páginas web y también aparecen en el repositorio Aragón Datos Abiertos (Gobierno de Aragón, 2020). Para crear el conjunto de datos, se procedió primero a recopilar las diferentes rutas, generando el archivo *routes.txt* de forma manual, seguido por la obtención de los horarios y las paradas correspondientes, para los ficheros *trips.txt* y *stops.txt*, respectivamente. Posteriormente, se desglosaron las expediciones y los tiempos de parada utilizando una hoja de cálculo, que luego se utilizó para poblar los archivos *trips.txt* y *stop_times.txt*. Este proceso se llevó a cabo de manera individual para cada una de las líneas de este grupo, lo cual fue factible debido al reducido número de rutas involucradas.

Validación del conjunto de datos

En última instancia, se fusionan los datos provenientes de cada una de las cinco agencias en un único conjunto de datos, compuesto por siete archivos de texto. Estos archivos contienen un volumen significativo de información, especialmente en lo que

respecta a los tiempos de parada. La Tabla 4.7 muestra el número de registros presente en cada uno de los archivos.

La etapa final consiste en la validación del conjunto de datos para asegurar su conformidad con todas las normativas establecidas por el estándar de datos. Este proceso de validación fue llevado a cabo utilizando la herramienta “transitfeed” (*Transitfeed*, 2020).

Tabla 4.7: Número de registros para cada archivo de la base de datos de transporte público

<i>Fichero</i>	<i>Registros</i>
agency.txt	5
calendar.txt	3
frequencies.txt	2372
routes.txt	86
stop_times.txt	48.936
stops.txt	1554
trips.txt	2666

Elaboración propia.

4.2.3 Procesamiento de datos de tráfico vehicular privado

El propósito de adquirir datos de tráfico relativos a vehículos privados en el marco de esta investigación radica en estimar los tiempos de desplazamiento de dichos vehículos dentro del área de estudio, con el propósito de contrastarlos posteriormente con los tiempos de viaje del transporte público. Para recabar estos datos, se empleará el servicio de Matriz de Distancia (*DistanceMatrix*) provisto por la API JavaScript de Google (Google, 2019), (Google, 2019) cuyas especificaciones han sido detalladas en la sección 4.1.2. Para llevar a cabo esta tarea, se ha elaborado un script en el lenguaje de programación *Python* (Python Software Foundation, 2019) cuyo funcionamiento se describe en este punto.

El primer paso de este procedimiento implica la adquisición de dos archivos correspondientes a los puntos de origen y de destino seleccionados para el análisis. Estos archivos, en formato de texto, siguen la estructura establecida por el estándar de datos GTFS, en concreto la del archivo *stops.txt*. En consecuencia, contienen información que incluye un identificador único, un nombre descriptivo de la parada, así como coordenadas geográficas asociadas a cada punto.

En este caso, se tendrá en cuenta el propósito posterior de comparar estos datos con los de transporte público por lo que se designarán como puntos de origen todas las paradas de transporte público presentes en el área de estudio. Asimismo, se designará la Plaza de

España como punto de destino, dado que estas ubicaciones concuerdan con aquellas empleadas en el análisis del transporte público.

Una vez que se dispone de ambos ficheros el siguiente paso consiste en ejecutar el programa, o *script*, que ha sido diseñado específicamente para esta investigación en el entorno del lenguaje de programación *Python*. El código original de este programa se encuentra en el Apéndice C. Este programa crea dos listas independientes donde almacena los datos de orígenes y destinos³. Luego el programa itera por todos los pares origen destino y realiza los cálculos de tiempo de viaje mediante la función *Distance Matrix* de la API JavaScript de Google. Los parámetros de esta función son los siguientes: modo conducción (*driving*); fecha y hora, 10 de la mañana del día posterior al análisis (19/06/2018) y modelo de tráfico estándar (*bestguess*), de forma que se obtendrá el tráfico de un día tipo a las 10 de la mañana basándose en datos históricos de tráfico para cada uno de los pares origen destino con poca influencia del tráfico real en el momento de hacer la consulta.

La consulta devuelve como resultado un objeto (*DistanceMatrixResponse*), del cual se capturan los valores de duración del trayecto en segundos correspondientes a cada ruta entre los pares de origen y destino consultados. Por último, el programa guarda esta información en un archivo en formato CSV con el propósito de facilitar su posterior procesamiento en un sistema de información geográfica.

4.2.4 Creación y corrección topológica de la red motorizada

Para realizar los análisis de redes necesarios para entender las variaciones temporales de la accesibilidad, es fundamental disponer de un conjunto de datos con una estructura de red dentro del entorno de un SIG. Para lograrlo, es primordial obtener inicialmente los datos del grafo de red y luego proceder con su posterior corrección topológica.

Creación del grafo de red

La información básica sobre esta temática es la red de transporte de la provincia de Zaragoza proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (Centro Nacional de

³ Ambas listas se ejecutan en bloques en nuestro programa con la finalidad de respetar los límites establecidos por el plan público de la API JavaScript de Google.

Información Geográfica, 2020). Los principales atributos de los elementos de este grafo están recogidos en la Tabla 4.8.

En cuanto a la información geográfica de OpenStreetMap (OSM), esta se obtuvo a través de Geofabrik (Geofabrik GmbH Karlsruhe, 2019) en diciembre de 2019 y sobre ella se realizan dos filtrados: un filtrado geográfico para obtener únicamente los elementos incluidos en el área de estudio, y un filtrado temático para incluir sólo los elementos que componen el viario y la red peatonal pues, a diferencia de la fuente anterior, en este caso la base de datos contiene información de temáticas muy variadas.

Tabla 4.8: Elementos del grafo de red de transporte del CNIG

<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Dominio</i>
<i>id_tramo</i>	Número identificador de cada tramo	Campo numérico
		Autopista Autovía Camino
<i>ClaseD</i>	Tipología de vía	Carretera convencional Carril bici Senda Urbano
<i>CalzadaD</i>	Tipo de calzada	Duplicada Única
<i>Sentido</i>	Determina el sentido de la circulación	Doble Único
<i>Situación</i>	Identifica el nivel del vial	Elevado En superficie
<i>TipoVehic</i>	Define los medios de transporte que soporta la vía	peatón + bici peatón + bici + vehículo solo bici solo vehículo

Fuente: Centro Nacional de Información Geográfica (2019). Elaboración propia.

En concreto, los elementos obtenidos en este filtrado pertenecen a la categoría *highway*, que recoge elementos referentes a las infraestructuras de transporte (OpenStreetMap Wiki, 2019), de entre ellos se han elegido sólo aquellos que pueden recibir flujo peatonal pues el objetivo de este grafo de red es complementar a la anterior. Los elementos obtenidos en esta consulta temática y sus atributos pueden consultarse en la Tabla 4.9.

Una vez recopilada la información de ambas fuentes se procedió a su fusión. Para ello se realizó una inspección visual con ambos grafos superpuestas y se detectaron aquellos espacios donde OpenStreetMap podía complementar al grafo anterior. Estos espacios se corresponden con los principales parques de la ciudad, así como áreas ajardinadas de zonas residenciales especialmente en barrios como Actur o Valdespartera, pero también en otros municipios del área como Cuarte de Huerva, Utebo o Zuera. Tras su detección se delimitaron dichos espacios, se extrajo la información geográfica de los mismos y se agregó a la procedente del IGN generando un tercer grafo red más propicio para cumplir los objetivos de esta investigación.

Tabla 4.9: Elementos obtenidos de OpenStreetMap

<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Dominio</i>
<i>osm_id</i>	Identificador del elemento en la base de datos de OpenStreetMap	Campo numérico
<i>fclass</i>	Contiene la clase a la que pertenece este elemento	<i>highway=residential</i> : Vías urbanas <i>highway=living_street</i> : Vías urbanas con tráfico calmado <i>highway=pedestrian</i> : Vías peatonales o de prioridad peatonal <i>highway=footway</i> : Aceras e itinerarios peatonales pavimentados <i>highway=path</i> : Caminos o sendas sin asfaltar, únicamente aptas para tráfico no motorizado <i>highway=steps</i> : Tramos de escaleras
<i>oneway</i>	Determina la dirección de un segmento	“F” si es de dirección única (en el sentido de la digitalización), “T” si es de dirección única (en sentido contrario a la digitalización) “B” si es de doble dirección.
<i>bridge</i>	Determina si el elemento es un puente	“T” si es verdadero, “F” si es falso
<i>tunnel</i>	Determina si el elemento es un tunnel	“T” si es verdadero, “F” si es falso

Fuente: OpenStreetMaps Wiki (2019). Elaboración propia.

Sobre este tercer grafo se actuó en aquellos bulevares de la ciudad que aparecen desdoblados en dos segmentos añadiendo los pasos de peatones faltantes para asegurar la integridad de los itinerarios peatonales. Además, se agregaron itinerarios peatonales en aquellos espacios compuestos por grandes áreas peatonales como plazas, de lo contrario hubieran sido interpretados como espacios intransitables. Una vez creados se adecuaron los atributos de los nuevos elementos procedentes de OpenStreetMap a los dominios de los

atributos preexistentes procedentes del grafo de red del IGN como se expone en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Reclasificación de atributos procedentes de OSM.

<i>Atributo y valor proveniente de OSM</i>	<i>Atributo y valor en el nuevo grafo de red</i>
fclass = residential fclass = Living_street fclass = Pedestrian fclass = footway fclass = steps	ClaseD = Urbano
fclass = path	ClaseD = Senda
Todos los elementos ⁴	CalzadaD = Única
oneway = "B"	Sentido = Doble
oneway = "T" oneway = "F"	Sentido = Único
bridge = "T"	Situacion = Elevado
tunnel = "T"	Situacion = Subterráneo
Elementos no clasificados como bridge = T o Tunnel = "T".	Situacion = En superficie
fclass = Pedestrian fclass = path Fclass = footway Fclass = steps	TipoVehic = Peatón + bici
Fclass = residential Fclass = Living_street	TipoVehic = Peatón + bici + Vehículo

Fuente: OpenStreetMap Wiki. Elaboración propia.

Corrección topológica

Una vez disponemos de los datos del nuevo grafo de red y su información temática asociada correctamente es momento de realizar una corrección topológica. La topología hace referencia a la relación que mantienen los objetos integrantes de nuestro grafo entre sí. Esta relación topológica determinará la conectividad de unos elementos con otros, y es precisamente esta característica, la conectividad, la que diferencia a un grafo de una red propiamente dicha. Por lo tanto, esta corrección topológica, aunque no es un fin en sí misma, si es una parte muy importante del proceso de tratamiento de datos al asegurar una correcta conectividad. Esta conectividad es necesaria para una adecuada espacialización de la accesibilidad en los análisis de transporte público y privado.

⁴ Puesto que en OpenStreetMap los itinerarios peatonales como, por ejemplo, las aceras paralelas de una misma calle están cartografiados como dos elementos diferentes.

Cabe destacar que los elementos procedentes del grafo de red del IGN tienen una buena calidad topológica y no requieren de corrección. Sin embargo, aquellos provenientes de OpenStreetMap poseen una peor calidad topológica que justifica la necesidad de corrección. Maxime si tenemos en cuenta que hemos anexado elementos de este grafo de red a otro grafo preexistente por lo que es necesario corregir la relación topológica de los mismos también en los espacios de contacto entre ejes de diferentes grafos para asegurar su correcta conectividad.

Las reglas topológicas que tenemos que aplicar para asegurar dicha conectividad son las siguientes:

Los segmentos no deben de superponerse.

Los segmentos no deben de superponerse consigo mismos.

Las líneas no deben de intersectar.

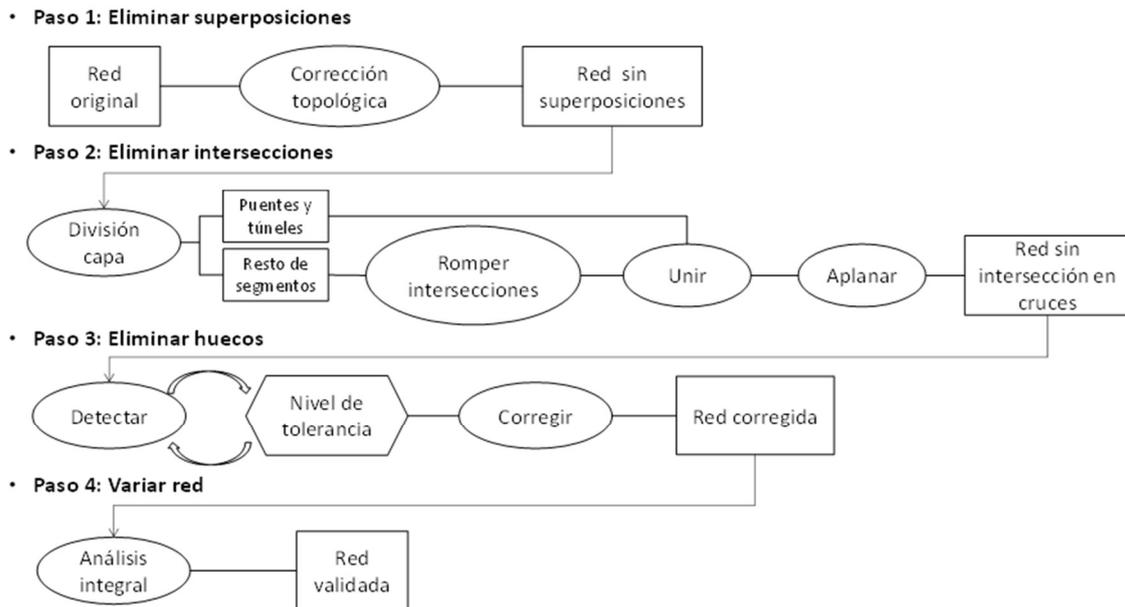
No debe de haber huecos entre segmentos.

Esta última regla debe aplicarse porque la política de conectividad aplicada será de extremo a extremo o *end point connectivity* (ESRI, 2021). Esto asegura la conectividad únicamente en el punto inicial o final de un segmento entendiendo que aquellos segmentos que se cruzan en puntos intermedios de los mismos no conectan entre sí. En cuanto al nivel de tolerancia clúster de la topología, este es de 0,5 metros. De modo que, todo elemento que quede por debajo de esa distancia se entiende como un mismo punto en la red y por ende conectado. Se ha escogido este nivel de tolerancia por considerarse adecuado para trabajar a escala urbana.

El procedimiento para realizar la corrección topológica seguido en este estudio se basa en el proceso diseñado por el Dr. Crispin Cooper de la Universidad de Cardiff y expuesto en la documentación del programa de corrección topológica sDNA (Cooper, 2021). Este proceso queda explicado en la Figura 4.3.

Siguiendo esta fuente, en primer lugar, debemos de eliminar las superposiciones existentes en el grafo de red. A tal efecto se ha utilizado el software de información geográfica ArcGIS y se ha realizado la corrección topológica aplicando las dos primeras reglas topológicas anteriormente comentadas: “los segmentos no deben de superponerse” y “los segmentos no deben de superponerse a sí mismos”.

Figura 4.3: Proceso de corrección topológica



Elaboración propia.

Una vez corregidas las superposiciones el siguiente paso consistió en eliminar las intersecciones, entendidas como lugares donde una línea corta a otra sin que exista un punto final de segmento. Para ser más exactos, lo que se busca es romper estas intersecciones en los cruces a nivel y mantenerlas en el caso de cruces a desnivel donde efectivamente las coordenadas x,y de un punto son la misma, pero no existe conectividad al no coincidir en su coordenada z. Gracias a la política de conectividad de extremo a extremo se consigue que los segmentos de los cruces a ras de suelo queden conectados mientras que aquellos cruces donde un vial pasa por encima de otro por la existencia de un puente o un túnel puedan permanecer sin conexión al no existir un punto final de línea en esta intersección.

Para conseguir esto se divide la información geográfica en dos capas separadas: la primera contiene todos los segmentos que se encuentran a nivel del suelo, mientras que la segunda contiene sólo aquellos pertenecientes a túneles o puentes. Posteriormente se toma la primera capa, que contiene únicamente los segmentos a nivel de suelo, y mediante la herramienta *Planarize* de ArcGIS se parten todos los segmentos en todos aquellos puntos en los que intersecan con otros. Finalmente, se vuelven a unir las capas de manera que los puentes y túneles todavía mantienen sus intersecciones respecto al resto de elementos.

Subsiguientemente, se corrigieron los huecos existentes entre segmentos. Para ello, el software sDNA (Cooper & Chiaradia, 2020) presenta una aproximación diferente a la de sistemas de información geográfica como ArcGIS. En ambos programas debe de utilizarse un nivel de tolerancia clúster por debajo del cual todo queda conectado y a partir del cual se buscan las desconexiones. Sin embargo, ArcGIS, así como otros sistemas de información geográfica, abordan su tratamiento uno por uno mientras que sDNA utiliza un método para poder corregir estos errores de manera casi automática lo que supone una gran ventaja. El proceso llevado a cabo para esta corrección es el siguiente. En primer lugar, se ejecuta la herramienta sDNA Prepare en modo *Detect* a un nivel de tolerancia clúster determinado. La herramienta encuentra todos los segmentos que quedan separados por una distancia menor a la indicada. Mediante una inspección visual debemos determinar si esas desconexiones son errores o por el contrario son elementos genuinos, y en función de esto, aumentar en el primer caso o disminuir en el segundo el nivel de tolerancia hasta hallar el nivel de tolerancia adecuado. Para el caso que nos ocupa el nivel de tolerancia clúster más adecuado ha sido de un metro. Este nivel permite encontrar prácticamente todas las desconexiones sin llegar a conectar automáticamente segmentos de viales que no estén conectados en la realidad.

Durante el proceso, la herramienta permite corregir no solo los huecos (*near misses*) sino también los sistemas aislados (*isolated paths*), es decir, trozos del grafo de red que no están conectados y que deben ser eliminados para evitar desviaciones en los cálculos de accesibilidad posteriores. En este caso se correspondían únicamente con algunos caminos dentro de espacios agrarios y naturales.

Posteriormente, siguiendo las indicaciones del ya citado manual del Doctor Cooper se supervisaron, y depuraron en su caso, aquellos segmentos de menor longitud que se correspondieron con errores topológicos.

Por último, para poder detectar posibles errores que hubieran quedado sin corregir se utilizó la herramienta Integral análisis de sDNA. Esta herramienta nos proporciona indicadores topológicos de centralidad y cercanía para cada segmento del grafo. Esto permite localizar, a través de la aparición de valores anómalos en dichas medidas, la existencia de errores topológicos dentro del grafo de red que hubieran podido quedar tras el proceso de corrección.

4.3 Limitaciones de los datos

La principal dificultad de las fuentes de información utilizadas radica en la ausencia de un conjunto de datos GTFS para el área de estudio en el momento de la investigación. Esto ha requerido el desarrollo de un conjunto de datos propio. Su proceso de desarrollo ha sido muy intensivo en tiempo, debido a la gran cantidad de registros en algunos archivos, siendo el de tiempos de parada el más notable, con más de 48.000 filas.

Para recopilar todos estos datos, se ha tenido que recurrir a varias fuentes. En el caso del transporte ferroviario, Renfe Operadora proporciona los datos en formato GTFS. Otros operadores, como el Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza, ofrecen una API a través de la cual hemos podido obtener toda la información necesaria para cumplir con el estándar de datos. Sin embargo, durante el proceso de validación, se identificaron algunas inconsistencias que requirieron correcciones posteriores de la misma.

Para el transporte urbano, fue necesario obtener los datos a través de consultas en la página web de la empresa Avanza Zaragoza. Esto resultó ser un proceso complejo debido a la gran cantidad de expediciones operadas por esta empresa. No obstante, el hecho de que estas líneas tengan una frecuencia regular facilitó el proceso. Es importante destacar que, aunque en la API del Ayuntamiento de Zaragoza se pueden obtener las líneas y paradas de transporte, no hay registro de los tiempos de parada. Sin embargo, sí es posible obtener los tiempos de espera en tiempo real.

En lo que respecta a las rutas interurbanas que no están integradas en el consorcio de transportes, parte de su información se obtuvo a través del repositorio de datos Aragón Datos Abiertos (Gobierno de Aragón, 2020). Este repositorio proporciona información sobre los tiempos de parada, pero lamentablemente contenía datos incorrectos en cuanto a las coordenadas y a los horarios de salida de las expediciones. Esto hizo necesario complementar la información utilizando los sitios web de las empresas de autobuses, lo que nuevamente incrementó el tiempo necesario para recopilar los datos.

La recopilación de datos de tráfico privado se simplificó mediante el uso del servicio de Matriz de Distancia de la API JavaScript de Google. Sin embargo, se encontró una limitación en su versión pública, que requiere ejecutar las consultas del programa por bloques para evitar exceder las 100 consultas simultáneas y el límite total de 2500 por ejecución.

En cuanto a los datos sobre infraestructuras viales proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional, destaca su alta resolución espacial y calidad topológica. Sin embargo, presenta una desventaja significativa para este proyecto: la falta de información sobre itinerarios peatonales. Para abordar este inconveniente, se ha optado por obtener dicha información de OpenStreetMap. Esta última fuente presenta una calidad de datos inferior, por lo que fue necesario realizar una corrección topológica de la red. Para llevar a cabo esta corrección, se utilizó el programa sDNA, que simplificó en gran medida este proceso.

Por último, es notable la alta calidad de la base de datos de población de la ciudad de Zaragoza mantenida por la Cátedra Territorio, Sociedad y Visualización Geográfica. Esta base de datos proporciona información demográfica y socioeconómica a nivel de portal para toda la población del municipio de Zaragoza.

4.4 Metodología

4.4.1 Cálculo de la componente temporal de la accesibilidad en transporte público

La base de datos de transporte público en formato GTFS del área metropolitana de Zaragoza, diseñada específicamente para esta investigación, posee datos referentes a los tiempos de parada del transporte público dentro del área de estudio. Esta compilación de datos presenta un potencial significativo, destacándose la capacidad para abordar la dimensión temporal en la accesibilidad a este medio de transporte, así como, la espacialización de la misma a través de la red de paradas. En consecuencia, este estándar de datos posibilita el análisis exhaustivo de las fluctuaciones en la accesibilidad generadas por los propios horarios de las expediciones de transporte público, abarcando así dos dimensiones fundamentales: la temporal y la espacial.

Configuración de la red de transporte público

Con el propósito de aprovechar plenamente este potencial y llevar a cabo análisis que capturen la naturaleza dinámica del transporte público, se empleará el software ArcGIS Pro. Este sistema de información geográfica posibilita la manipulación y análisis de este tipo de datos mediante un modelo de datos específico.

Tabla 4.11: Elementos del modelo de datos de transporte público.

<i>Tipo de elemento</i>	<i>Nombre</i>	<i>descripción</i>
Clase de entidad (puntos)	Stops	Ubicaciones de las paradas

Clase de entidad (puntos)	StopsOnStreets	Ubicaciones de las paradas sobre la red de calles. En ellas los pasajeros pueden acceder a las paradas desde la red de calles.
Clase de entidad (polilíneas)	StopConnectors	Polilíneas que conectan las paradas y las ubicaciones de las paradas sobre la red de calles.
Clase de entidad (polilíneas)	LineVariantElements	Polilíneas que representan las rutas de transporte público.
Tabla	Lines	Define las características de las rutas de transporte público
Tabla	LineVariants	Define las variaciones o ramales de las rutas de transporte
Tabla	Schedules	Define patrones únicos de tiempos de viaje asociados con una variante de línea determinada, o horarios.
Tabla	ScheduleElements	Define los tiempos de viaje entre paradas para un horario determinado de una variante de línea determinada.
Tabla	Runs	Tabla que define los tiempos de inicio específicos de un viaje.
Tabla	Calendars	Recoge los días de la semana y los rangos de fecha en los que funciona el servicio de transporte público.
Tabla	CalendarExceptions	Define excepciones al servicio regular, en fechas específicas.

Fuente:(Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2021c). Elaboración propia

El modelo datos de transporte público de *Network Analyst* se compone de un conjunto de tablas y clases de entidad, caracterizadas por un esquema predefinido que delimita las paradas y las líneas de transporte, además de las fechas y horarios en las que circulan las diferentes expediciones (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2021c). Todos estos elementos se utilizan en la configuración de una red de transporte integrándose a través de un evaluador específico. Los componentes de este modelo de datos de transporte público se encuentran detallados en la tabla anterior:

Para establecer la configuración de la red de transporte conforme al modelo de datos aquí expuesto y que posteriormente permitirá realizar análisis de la accesibilidad dependientes del tiempo es necesario realizar el siguiente proceso que consta de cinco pasos (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2021a).

En una primera fase, se procederá a la creación de los elementos de parada, líneas y datos de horarios conforme al modelo de datos. Este proceso se llevará a cabo mediante el empleo de la herramienta de geoprocetamiento "GTFS a orígenes de transporte de *dataset* de red" disponible en ArcGIS Pro. Dicha herramienta requiere como entrada el directorio que alberga los archivos de texto que conforman la base de datos de transporte público correspondiente al área de estudio, presentados en el formato GTFS. Como resultado de

este geoproceto, se generarán las capas de paradas (*Stops*) y rutas (*LineVariantElements*), además de las siete tablas que integran dicho modelo.

El segundo paso implica la vinculación de las paradas de transporte, obtenidas en el paso anterior, con la red de calles mediante la herramienta de geoproceto "Conectar orígenes de transporte de *dataset* de red a calles". Para este procedimiento, se utiliza como capa de entrada el grafo de red generado específicamente para este estudio, elaborado a partir de datos proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional y *OpenStreetMaps*, tal como se describe en la sección 4.1.3. Durante la configuración de la herramienta, se especifica que las paradas no pueden ser agregadas a segmentos del grafo restringidos para peatones. Como resultado de este proceso, se obtienen las capas que muestran la ubicación de las paradas sobre el grafo de calles (*StopsOnStreets*) y los conectores que enlazan estas paradas (*StopConnectors*).

La tercera etapa de este procedimiento implica la transición del grafo de calles hacia un conjunto de datos con lógica de red que contenga todos los componentes del modelo de datos de transporte público obtenidos en las dos frases previas. Este proceso se lleva a cabo mediante la herramienta "Crear *dataset* de red a partir de una plantilla", utilizando específicamente la plantilla *TransitNetworkTemplate.xml* que se encuentra disponible en la página web de ArcGISPro (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2021a).

Esta plantilla establece la configuración de la red de transporte definiendo la política de conectividad y el cálculo del tiempo de viaje a través de la red. Establece tres grupos de conectividad en la red; un primer grupo para la red de calles (*Streets*), un segundo grupo para los conectores (*StopConnectors*) y un tercer grupo para las líneas de transporte (*LineVariantElements*). La capa que contiene las paradas sobre la red de calles (*StopsOnStreets*) se conecta con los dos primeros grupos, es decir, con la red de calles y los conectores. La capa con la ubicación real de las paradas (*Stops*) se conecta a su vez, con los conectores y las líneas de transporte. En cuanto a los costes se generan tres atributos de coste para este conjunto de datos de red que son: La longitud en metros (*length*), el tiempo caminando en minutos (*WalkTime*), y el tiempo de viaje en transporte público en minutos (*PublicTransitTime*), que se determina a través del evaluador de Transporte Público.

Este componente se sirve de la información contenida en las tablas generadas en la primera fase de este proceso para calcular la duración de un recorrido para cada uno de los

segmentos de la capa de líneas de transporte público (*LineVariantElements*), basándose en el horario programado del servicio. El cálculo del tiempo de viaje considera tanto el período de espera hasta el inicio del siguiente servicio como el tiempo empleado para desplazarse a lo largo de la línea de transporte (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2021b).

El cuarto y último paso consiste en construir la conectividad de la red creada en el paso anterior para que esta tenga operatividad mediante la herramienta “Construir red”. Tras la finalización de este último procedimiento, el conjunto de datos de la red se encuentra preparado para ser sometido a la aplicación de procesos de análisis de redes. Estas herramientas tendrán en cuenta los tiempos de desplazamiento de acuerdo con los horarios predefinidos del transporte público, lo que posibilitará una evaluación exhaustiva de la accesibilidad que este ofrece a la población.

Generación de polígonos de accesibilidad en transporte público por porcentaje de tiempo

El indicador seleccionado para evaluar la accesibilidad en transporte público de la población es el porcentaje de tiempo que un espacio es accesible desde un origen específico, para un umbral de tiempo determinado. Para llevar a cabo este cálculo se emplearán las herramientas proporcionadas por la extensión *Transit Network Analysis Tools*, (Morang, 2021a, 2021b) las cuales permiten obtener polígonos de acceso que reflejan dicho porcentaje mediante un análisis de área de servicio. Este procedimiento consta de tres etapas.

La primera etapa implica la preparación y configuración de una capa de áreas de servicio. Para ello, se selecciona la Plaza de España como punto de referencia para calcular el área de servicio. Después, se elige el modo de transporte público para utilizar los costos y evaluadores configurados previamente. Por último, se define un valor específico de corte. En este estudio, se realizaron cinco análisis con valores de corte de 15, 30, 60, 90 y 120 minutos, lo que implicó la repetición de este proceso en cada una de estas ocasiones.

La fase intermedia consiste en ejecutar la herramienta de geoprocésamiento *Prepare Time Lapse Polygons Tool*, perteneciente a la extensión *Transit Network Analysis Tools*. Esta herramienta toma como entrada la capa de áreas de servicio definida en el paso anterior. Al configurar la herramienta, se especifica la hora de inicio (6:00) y finalización (22:00) de la ventana temporal, así como un intervalo de repetición que se establece en 5 minutos. En consecuencia, la herramienta realizará el análisis de área de servicio de forma

iterativa cada cinco minutos dentro de esta ventana temporal, lo que supone un total de 193 repeticiones. El resultado obtenido consiste en una capa de polígonos que proporciona los tiempos de viaje promedio, mínimo y máximo para cada área y momento del día correspondiente.

La tercera etapa implica utilizar este resultado como entrada para la herramienta Create Percent Access Polygons. El geoproceto llevado a cabo por esta herramienta consiste en superponer los polígonos de área de servicio correspondientes a diferentes momentos del día y resumir los resultados calculando el porcentaje de polígonos de entrada que cubren un área específica. Este resultado muestra el porcentaje de tiempo que un área es alcanzada en transporte público, evidenciando como el área alcanzable por el transporte público cambia a lo largo del día (Morang, 2021a).

Una vez finalizado el proceso de obtención de polígonos de tiempo, se reclasifican los diferentes porcentajes y se cruzan estos resultados con los datos sobre las características sociodemográficas de la población del área de estudio (Instituto Nacional de Estadística, 2020a, 2020b; Pueyo Campos, 2020).

Finalmente, es importante señalar que una limitación de la herramienta de análisis es que no permite segmentar entre la etapa de viaje realizada a pie y en transporte público durante el cálculo de los polígonos de tiempo para un umbral determinado. Hubiera sido beneficioso poder restringir el tiempo de desplazamiento a pie, especialmente en los umbrales más amplios, ya que los polígonos tienden a extenderse considerablemente desde las paradas de transporte en los centros de población hacia las áreas no urbanizadas.

4.4.2 Cálculo del índice de calidad de acceso en transporte público

A partir de los polígonos de porcentaje de acceso y con el propósito de evaluar la calidad de la accesibilidad en transporte público para la población del entorno de Zaragoza se ha diseñado el Índice de Calidad de Acceso (ICA). Este índice se construye mediante la conjugación de dos variables:

- La fracción de tiempo en la que un destino es accesible desde un origen determinado.
- La cantidad de tiempo requerida para llegar a dicho destino.

Para obtener ambas variables es imprescindible repetir el proceso de generación de polígonos que representen el porcentaje de acceso para varios intervalos de tiempo

distintos: En este estudio, se han determinado los siguientes intervalos: 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 1 hora y media y 2 horas. Luego, se asigna una calificación en una escala del 0 al 10 para cada intervalo, la cual se corresponderá con una situación de disponibilidad del 100% (véase Tabla Tabla 4.12). Después, se procede a multiplicar esta puntuación por la proporción de tiempo en el cual dicho lugar es accesible, expresada en tantos por uno.

Tabla 4.12: Puntuación según umbrales de tiempo para el índice de calidad de acceso.

<i>Umbral</i>	<i>Puntuación máxima</i>	<i>Rango de puntuación⁵</i>
15 minutos	10 puntos	1 punto
30 minutos	9 puntos	1 punto
1 hora	7 puntos	2 puntos
1 hora y media	5 puntos	2 puntos
2 horas	3 puntos	2 puntos

Elaboración propia

En el cálculo propuesto, es importante tener en cuenta que estas dos variables no son independientes. El porcentaje de tiempo en que un servicio es accesible depende del umbral de tiempo que se esté utilizando como corte. A modo de ejemplo, un lugar que esté a 10 minutos de trayecto en autobús de otro y que reciba expediciones cada 10 minutos experimentará una variación lineal de los tiempos de viaje entre los 10 y los 20 minutos. Por lo que, este espacio será accesible el 100% del tiempo si se realiza el análisis para 30 minutos, y sólo un 50% si se establece el umbral de corte en 15 minutos. De esta forma, para el cálculo del primer umbral, se obtendrían 9 puntos, mientras que para el segundo se obtendrían 5 puntos⁶. Para abordar este aspecto, se evalúa el valor de cada umbral por separado y se toma siempre el valor máximo (9 puntos).

En última instancia, este cálculo se ajusta mediante la adición de la puntuación de accesibilidad del umbral inmediatamente anterior, a la cual se aplica un factor de corrección derivado del rango de puntuación correspondiente a dicho umbral previo. En el ejemplo que nos ocupa se sumarían 0.5 puntos⁷, lo que resulta en una calificación total de 9.5 puntos en el caso del ejemplo expuesto. Este ajuste permite obtener una puntuación

⁵ Se establece como la diferencia de puntos entre la puntuación máxima de este rango y la puntuación máxima del rango siguiente.

⁶ Obtenidos multiplicando la puntuación del umbral de 15 minutos, 10 puntos, por su disponibilidad en tantos por uno, 0,5 puntos.

⁷ Los 5 puntos obtenidos se multiplican por 0.1, que corresponde al rango de puntuación de este umbral, 1 punto, dividido entre diez. Este rango de puntuación (1 punto) se obtiene de la distancia entre las calificaciones máximas de los dos rangos implicados, 9 y 10 puntos respectivamente.

mayor frente a una ubicación que sea alcanzable el 100% del tiempo a 30 minutos, pero no lo sea nunca a 15 minutos, que obtendría 9 puntos. Los cálculos descritos quedan recogidos en la siguiente fórmula⁸:

$$ICA = \max(\sum_i^n P_i \times T_i) + \frac{R_{i-1}}{10} (P_{i-1} \times T_{i-1})$$

Siendo:

ICA= Índice de calidad de acceso, el cual variará en un rango de valores de 0 a 10.
 P_i = Puntuación de accesibilidad para un umbral de tiempo i . Los valores quedan establecidos en la tabla Tabla 4.12. T_i = Cantidad de tiempo que una localización es accesible para un umbral de tiempo i , expresada en tantos por uno. $i-1$ = Hace referencia al umbral de tiempo inmediatamente anterior si los ordenamos de mayor a menor brevedad. Por ejemplo: para el caso de $i=30$ minutos, $i-1=15$ minutos. R_{i-1} = Rango de puntuación aplicado al umbral de tiempo inmediatamente anterior, cuyos valores se definen en la Tabla 4.12.

Después de obtener el valor del Índice de Calidad, se procede a clasificarlo según diferentes categorías de aptitud según lo expuesto en la Tabla 4.13:

La implementación de este índice de calidad de acceso (ICA) se ha llevado a cabo en este estudio tomando como punto de origen el centro de la ciudad de Zaragoza (Plaza de España) y relacionando sus resultados espaciales con las características sociodemográficas de la población (secciones 5.1 y 5.2 respectivamente). Además, esta metodología ha sido implementada con el propósito de evaluar, por una parte, el acceso a los servicios sanitarios, tales como centros de salud y hospitales, cuyas ubicaciones se han obtenido a través del portal web Aragón Datos Abiertos (Gobierno de Aragón, 2021). Por otro lado, se ha aplicado para analizar la accesibilidad a instituciones educativas de nivel superior, específicamente los Campus de San Francisco y Río Ebro, por ser los que cuentan con

⁸ Utilizando el ejemplo previamente mencionado, esta fórmula se aplicaría de la siguiente manera: Para el primer factor, se determina el máximo resultado al multiplicar cada puntuación por su respectiva disponibilidad, expresada en tantos por uno. En este contexto, se obtendrían 5 puntos en el primer intervalo (donde la disponibilidad es del 50%) y 9, 7, 5 y 3 en los siguientes intervalos (donde la disponibilidad es del 100%). Por consiguiente, el valor máximo es 9, el cual corresponde al umbral de 30 minutos. En relación al segundo factor, se utiliza el resultado del intervalo anterior, es decir, 15 minutos que equivalen a 5 puntos, y se multiplica por el rango de puntuación otorgado a ese intervalo dividido por 10, es decir, 1 punto / 10 = 0,1 puntos. Por lo tanto, 5 x 0,1 = 0,5 puntos. Finalmente, se suman ambos factores, lo que resulta en un total de 9 + 0,5 = 9,5 puntos

mayor número de estudiantes en concreto más de 11.000 y 4000 respectivamente (Universidad de Zaragoza, 2023). Ambos resultados se detallan en el punto 5.6.

Tabla 4.13: Clasificación del índice de calidad de acceso (ICA)

<i>Valor del ICA</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Tiempo de trayecto</i>
10	Excelente	Destino alcanzable en 15 minutos o menos
De 9 a 10	Muy bueno	Destino alcanzable en 30 minutos o menos
De 7 a 9	Bueno	Destino alcanzable en 1 hora o menos
De 5 a 7	Regular	Destino alcanzable en 1 hora y media o menos
De 3 a 5	Deficiente	Destino alcanzable en 2 horas o menos
De 0 a 3	Muy deficiente	Destino no siempre alcanzable en 2 horas de trayecto.

Elaboración propia.

4.4.3 Cálculo de las disparidades en la accesibilidad entre el transporte colectivo y el vehículo privado

Para conocer las diferencias existentes entre la accesibilidad en transporte público y en automóvil particular se han llevado a cabo tres análisis distintos:

- El tiempo promedio de viaje en vehículo privado hasta el centro de Zaragoza.
- El tiempo promedio de viaje utilizando el transporte público hasta el centro de Zaragoza.
- La diferencia de tiempos entre el uso del vehículo privado y el transporte público.

Cálculo del tiempo de viaje en vehículo privado

Inicialmente, se emplea el script desarrollado en el lenguaje de programación Python, descrito en la sección 4.2.3, con el propósito de adquirir datos empíricos relativos al tráfico vehicular privado. Este proceso se realiza a través del servicio de Matriz de Distancia proporcionado por la interfaz de programación de aplicaciones (API) JavaScript de Google (Google, 2019).

Para ello se seleccionan 100 ubicaciones que coinciden en todos los casos con paradas de transporte público, para una mejor comparación posterior con este medio de transporte. De estas, 50 están distribuidas de manera uniforme entre los barrios urbanos de Zaragoza, mientras que las otras cincuenta están distribuidas el entorno de la ciudad, abarcando todos los municipios y barrios rurales.

Como resultado de la consulta a la API, se obtiene información concerniente a la duración media del viaje en automóvil desde las cien ubicaciones anteriormente mencionadas hasta la Plaza de España, partiendo del supuesto de una circulación vehicular con una fluidez promedio.

La segunda etapa del proceso implica la espacialización de los resultados desde las ubicaciones donde disponemos de información de tiempo de trayecto al resto del área. Para lograr esto, primero debemos configurar un nuevo conjunto de datos de red. Para ello, empleamos el grafo de red diseñado específicamente para este estudio, el cual se elaboró utilizando datos del Instituto Geográfico Nacional y se complementó con información peatonal procedente de OpenStreetMap. A este grafo, se le agrega un nuevo atributo que recoge la velocidad de desplazamiento en cada arco de la red. Con base en la clasificación de vías del IGN incluida en la propia capa (Centro Nacional de Información Geográfica, 2020), establecemos una velocidad, medida en kilómetros por hora, ligeramente por debajo del límite máximo permitido para cada vía, con el fin de representar la velocidad promedio de circulación.

Tabla 4.14: Velocidad en función del tipo de vía.

<i>Tipo de vía</i>	<i>Velocidad</i>
Autopista	110 km/h
Autovía	100 km/h
Carretera multicarril	100 km/h
Carretera convencional	80 km/h
Vía urbana	40 km/h
Camino	40 km/h

Fuente: (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2021c). Elaboración propia.

El siguiente paso involucra la conversión del grafo en un conjunto de datos con lógica de red. Dado que el propósito es modelar la red de carreteras para el tráfico vehicular, configuramos el grafo de la siguiente manera. Primeramente, se establece un único grupo de conectividad y se define un nuevo coste denominado "TiempoCoche". Luego, configuramos este coste para evaluar la impedancia de recorrer cada segmento de red mediante una fórmula que convierte el atributo de velocidad previamente definido en el tiempo requerido para atravesar dicho segmento, expresado en minutos. La fórmula es la siguiente:

$$T = \frac{d}{1000} \div \frac{v}{60}$$

donde T representa el tiempo en minutos, d es la distancia en metros y v la velocidad en kilómetros por hora.

Para concluir la configuración de la red, establecemos una restricción para evitar que los vehículos atraviesen las vías peatonales.

Una vez que la red ha sido configurada, llevamos a cabo un análisis de matriz origen-destino. Los puntos de origen se derivan de una malla regular de puntos espaciados cada 500 metros de distancia para toda el área de estudio, creada con ese propósito específico. Los puntos de destino se corresponden con las ubicaciones de las cien paradas de transporte donde contamos con datos de tiempo en vehículo privado.

Tras ejecutar el análisis, se selecciona para cada punto de la malla aquella parada de transporte con el menor costo proporcionando el tiempo mínimo de viaje. Luego, se calcula la suma del tiempo de viaje en coche hasta la parada más cercana y el tiempo desde esta parada hasta el punto de la malla en cuestión. Finalmente, los resultados se espacializan mediante el método de interpolación Kriging, utilizando un modelo de semivariograma exponencial.

Cálculo del tiempo de viaje en transporte público

Para calcular el tiempo de trayecto en transporte público, emplearemos la red de transporte diseñada a partir de los datos en formato GTFS, conforme al modelo de datos de transporte público de *Network Analyst* (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2021c). Sobre esta red, llevaremos a cabo un análisis de matriz origen-destino. Los puntos de origen serán las 1.555 estaciones y paradas de transporte público existentes en el área de estudio, mientras que el destino será la Plaza de España debido a su ubicación céntrica en la ciudad.

Esta capa de análisis de red que contiene la matriz se integrará en la herramienta *Calculate Travel Time Statistics* del paquete *Transit Network Analysis Tools* (Morang, 2021b). Configuraremos la herramienta para calcular matrices de forma iterativa en una ventana de tiempo comprendida entre las 6:00 y las 22:00 horas, con intervalos de 5 minutos, lo que representa un total de 193 repeticiones. El resultado será una tabla que contiene el tiempo medio de desplazamiento desde cada origen a Plaza de España, considerando en su estimación todas las matrices intermedias.

A continuación, procedemos a calcular los tiempos desde esas paradas hacia el resto del área de estudio. Para este propósito, utilizamos el grafo de segmentos generado a partir de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y OpenStreetMaps, y lo convertimos nuevamente en una estructura de red. En este caso, el objetivo es modelar el trayecto a pie desde las paradas hacia el resto del área, ya que es el modo que suelen usar los usuarios del transporte público para sus desplazamientos de última milla.

Por consiguiente, se debe configurar el conjunto de datos de red en consecuencia. Primero, establecemos un único grupo de conectividad, para después definir un nuevo costo denominado "TiempoPeatón". Este costo calcula el tiempo, expresado en minutos, que un individuo tarda en recorrer un segmento de la red asumiendo una velocidad de 4,5 kilómetros por hora. Finalmente, imponemos una restricción para evitar que los peatones atraviesen las vías restringidas para los vehículos.

Después de haber configurado la red, llevamos a cabo un análisis adicional de matriz origen-destino. En esta instancia, los puntos de origen están asociados con las ubicaciones definidas en la malla mencionada anteriormente, mientras que los puntos de destino abarcan todas las paradas de transporte dentro del área de estudio.

Este análisis permite determinar el tiempo mínimo necesario para desplazarse a pie desde cada punto de la malla hasta su parada más cercana. Al agregar este tiempo al tiempo de transporte en la red de transporte público, obtenemos el tiempo total de viaje a la Plaza de España para cada punto de la malla. Por último, los resultados se espacializan utilizando el método de interpolación kriging.

Diferencia de tiempos de viaje entre el vehículo particular y el transporte colectivo

Por último, a través de una operación de álgebra de mapas, restamos al mapa de tiempos de viaje en transporte público el valor del mapa de tiempos de viaje en vehículo particular. De este modo, obtenemos una superficie continua para toda el área de estudio con el sobrecoste en minutos que los usuarios del transporte público deben experimentar en sus desplazamientos al centro de Zaragoza. Estos datos se analizan conjuntamente con los datos de población por portales (Pueyo Campos, 2020) permitiendo conocer las características sociodemográficas de la población que está expuesta a las mayores diferencias.

Capítulo 5. Accesibilidad al transporte público en Zaragoza: variabilidad espaciotemporal, factores socioeconómicos y comparación con el transporte privado

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación sobre la accesibilidad en transporte público en el área metropolitana de Zaragoza. El primer epígrafe analiza la distribución de la accesibilidad en transporte público en el área de estudio, considerando las variaciones asociadas a los horarios de las expediciones. El segundo epígrafe explora la relación entre la accesibilidad en transporte público y las características demográficas, económicas y sociales de la población. La tercera sección se centra en conocer el grado de accesibilidad en transporte público que la población posee en relación con una serie de equipamientos. Por último, la cuarta sección compara los tiempos de viaje en vehículo privado y en transporte público, con el objetivo de realizar una evaluación de los mismos.

5.1 Distribución espacial de la accesibilidad en transporte público atendiendo a la naturaleza dinámica del mismo

El presente epígrafe pretende responder al segundo objetivo específico de la tesis doctoral: analizar cómo se distribuye la accesibilidad espacial en transporte público a lo largo y ancho del territorio del área metropolitana de Zaragoza. La hipótesis de partida es que el nivel de accesibilidad en transporte público en la corona metropolitana de Zaragoza es insuficiente para asegurar un acceso adecuado y continuo al centro de la ciudad.

Para poder responder a esta cuestión se presentan una serie de mapas que muestran la distribución de la accesibilidad en transporte público a lo largo del área de estudio. La facilidad de esos lugares a ser alcanzados en transporte público se va a estudiar en relación con el tiempo de acceso. Para eso se expondrán varios mapas que muestran los lugares que pueden ser alcanzados desde el centro de Zaragoza (Plaza de España) en cinco umbrales de tiempo diferentes: 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 1 hora y media y 2 horas.

Sin embargo, como se ha expuesto con anterioridad, a la hora de conocer el tiempo total de transporte en el caso del transporte público no sólo necesitamos conocer el tiempo de trayecto desde el origen hasta el destino, sino que debemos tener también en cuenta el tiempo de espera en la parada. De hecho, en casos de servicios con baja frecuencia o frecuencia irregular este periodo de tiempo puede suponer una proporción importante del tiempo total de transporte. Tanto es así que este tiempo de espera genera importantes fluctuaciones en el área que puede ser alcanzada en transporte público cuando analizamos un umbral de tiempo determinado. En este sentido, el área que puede ser alcanzada en un

determinado umbral de tiempo, por ejemplo 1 hora, aumenta conforme nos acercamos al horario de paso de una determinada expedición. A modo de ejemplo, en caso de que quede sólo 1 minuto para el paso del servicio se podrán invertir 59 minutos en el trayecto. Una vez ese servicio haya pasado por la parada el tiempo de espera hasta la siguiente oportunidad de viaje aumentará, si este es por ejemplo de 30 minutos, ya sólo podremos invertir otros 30 minutos en el trayecto para completar la hora de viaje, de forma que invirtiendo la misma cantidad de tiempo podremos acceder a un área menor del territorio.

Este hecho, de trascendental importancia, se obvia en numerosos estudios cuando se presentan mapas de isócronas en transporte público que tienen en cuenta únicamente el tiempo de trayecto entre el origen y el destino. Para evitar este sesgo y poder recoger la naturaleza dinámica de la accesibilidad se presentan una serie de mapas que presentan el porcentaje de tiempo que una ubicación es accesible para un umbral de tiempo determinado⁹. Esto permite sintetizar todo ese dinamismo y conocer no sólo si un lugar puede llegar a ser alcanzado en un tiempo determinado, sino también si esta condición se cumple siempre o es algo meramente puntual.

5.1.1 Accesibilidad en transporte público a 15 minutos

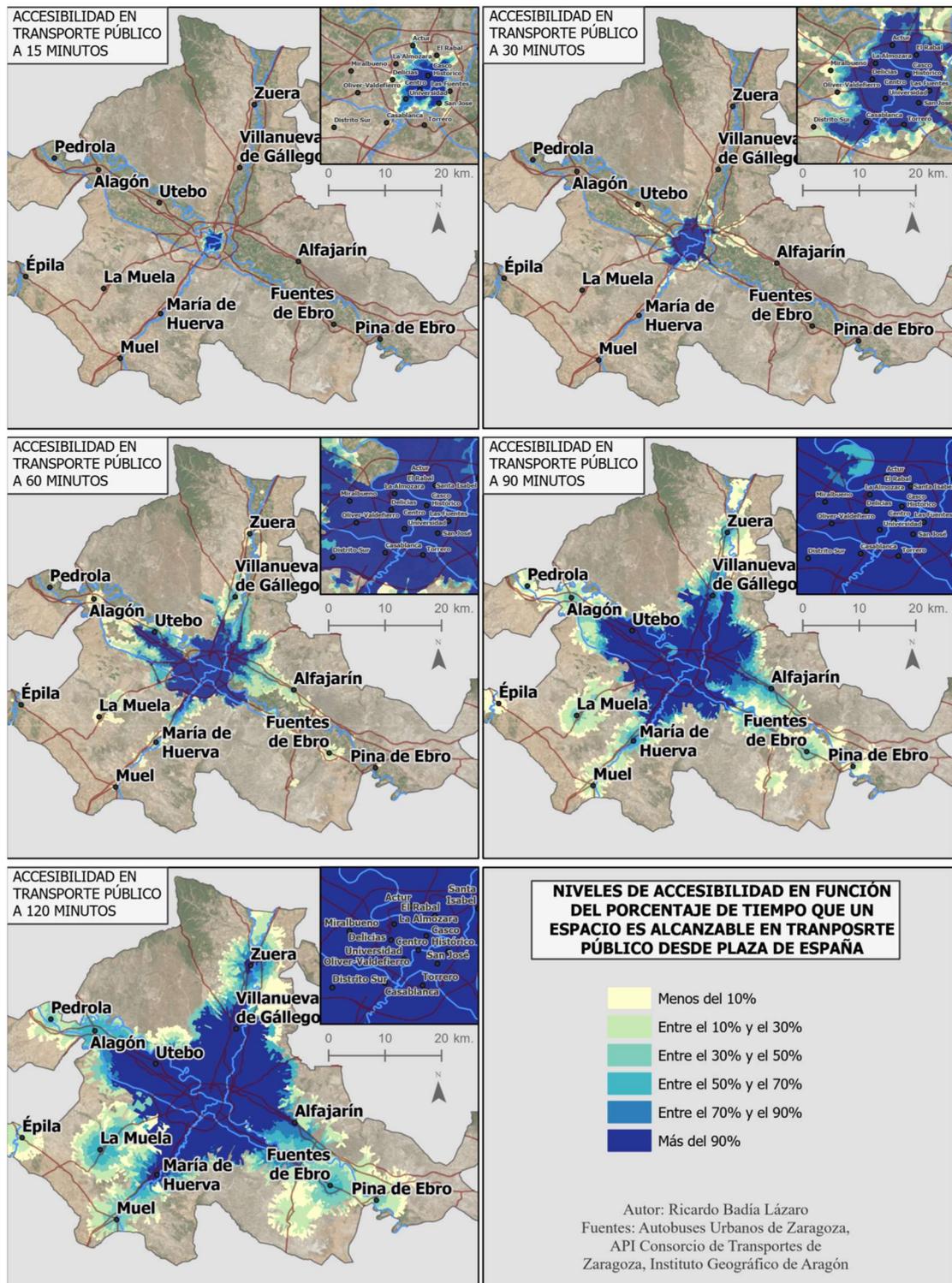
El primer umbral por analizar se corresponde con los 15 minutos de tiempo total de trayecto¹⁰. Se trata de un periodo de tiempo breve para un desplazamiento que implique la utilización del transporte público, pero permite conocer precisamente que espacios gozan de los mejores niveles de accesibilidad. Este umbral se correspondería con un viaje corto de los que habitualmente se realizan dentro de un mismo municipio por motivos cotidianos para satisfacer las necesidades más básicas de un individuo.

La Figura 5.1 muestra la accesibilidad en transporte público para el mencionado umbral de 15 minutos, junto con el resto de umbrales de tiempo que se tratarán en esta sección. En la leyenda del mapa se muestra el porcentaje de tiempo que una ubicación es accesible tomando como total el periodo comprendido entre las 6 y las 22 horas de un día laborable.

⁹ El porcentaje se calcula dentro de un periodo de tiempo que abarca desde las 6 de la mañana hasta las 10 de la noche de un día laborable..

¹⁰ Para este mapa y los siguientes la accesibilidad entre dos puntos se calcula teniendo en cuenta el desplazamiento más corto utilizando dos modos, caminando y viajando en transporte público, sea cual sea la proporción entre ellos.

Figura 5.1: Porcentaje de tiempo que un espacio es accesible en transporte público.



Fuentes: AVANZA Zaragoza (2020^a); Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza (2020) y base de datos GTFS de esta investigación (2020). Elaboración propia

En este caso, al tratarse de un umbral de tiempo corto el área alcanzada se circunscribe únicamente a barrios interiores de la ciudad de Zaragoza, en la mayoría de los casos dentro del segundo cinturón de circunvalación de la ciudad. En consecuencia, para

este umbral el mapa auxiliar, con ampliación en la ciudad de Zaragoza, es más representativo. En el mapa principal se ha querido mantener la escala entre umbrales para facilitar la comparación visual con el resto de umbrales que se tratarán.

En el mencionado mapa auxiliar se observa como la mayor parte del espacio accesible se corresponde con el umbral de mayor disponibilidad, es decir, aquel que recibe servicio más de un 90% del tiempo, y que se representa con el color azul más intenso. Se debe de interpretar este umbral como un servicio que está siempre disponible para los usuarios, especialmente si atendemos a que las frecuencias antes de las 8 de la mañana o después de las 9 de la tarde suelen disminuir, lo que justifica que el valor de disponibilidad del servicio no siempre sea del 100%. Este nivel de disponibilidad otorga a los usuarios un nivel de seguridad elevado de que su desplazamiento se realizará sin superar los 15 minutos y entenderán la disponibilidad del servicio como algo continuo.

Como se observa en el citado mapa, esta área donde el servicio está disponible más de un 90% del tiempo presenta una morfología circular relativamente marcada que queda sólo desdibujada ligeramente por los ejes de transporte de Avenida Cataluña (al noreste de la ciudad) y Avenida de San José (al sureste). Por ende, los distritos de Centro y Casco Histórico, el barrio de la Universidad, y las zonas más próximas al centro de los barrios de La Almozara, Delicias, San José, Las Fuentes, El Rabal y ACTUR se encuentran dentro de este rango de accesibilidad.

A partir de aquí encontramos una rápida disminución de los niveles de accesibilidad. Esto es indicativo de un servicio de transporte consolidado, integrado por líneas con una frecuencia de paso elevada y regular a lo largo del día, lo que da lugar a tiempos de espera cortos y constantes. Los diferentes niveles de accesibilidad se distribuyen en forma de aros concéntricos manteniendo la estructura circular anteriormente comentada excepto en algunos ejes de transporte. En concreto, a los dos corredores anteriormente mencionados se suman el eje integrado por la línea 1 del tranvía de Zaragoza, tanto en su tramo norte (calles de María Zambrano y Gertrudis Gómez de Avellaneda), a través de los cuales se extienden áreas con valores por encima del 70%. Estos espacios se deben de interpretar como lugares que son accesibles en menos de 15 minutos la mayoría del tiempo pero que, en caso de que el servicio de transporte (en este caso el tranvía) haya pasado y se deba esperar todo o casi todo el ciclo hasta el siguiente el tiempo total de viaje, excederá el cuarto de hora.

También aparece representado en la cartografía el eje de la Avenida de Madrid, pero presentando, en este caso, valores de disponibilidad del servicio sensiblemente menores. En consecuencia, pocas expediciones de transporte llegan a cumplir este umbral de los 15 minutos, de modo que los tiempos de transporte medios en este espacio estarán ligeramente por encima de este umbral.

5.1.2 Accesibilidad en transporte público a 30 minutos

El segundo umbral por analizar en este estudio es el de los 30 minutos de tiempo total de viaje. Se trata de un tiempo bastante común para desplazamientos habituales en transporte público dentro de una ciudad de tamaño medio. En contraste, para un desplazamiento desde la corona metropolitana a la ciudad central se correspondería con un tiempo de viaje corto.

La principal diferencia en este caso (ver Figura 5.1) estriba en que, como es lógico, el área potencialmente accesible ha aumentado considerablemente, de manera que prácticamente todos los barrios de la ciudad de Zaragoza pueden ser alcanzados en menos de 30 minutos más del 90% del tiempo un día laborable, es decir, el servicio se encuentra disponible prácticamente siempre.

Por lo tanto, las zonas con menores niveles de accesibilidad dentro de la ciudad de Zaragoza se corresponden con barrios periféricos. Es el caso de los márgenes de los barrios de Parque Goya, Picarral, Santa Isabel, La Paz, Valdespartera, y la mayor parte del barrio de Montecanal. Todos ellos se encuentran a menos de 30 minutos de la Plaza de España un 70% del periodo de tiempo estudiado, por lo que todavía mantienen un buen nivel de accesibilidad. En cuanto a los barrios situados en la orla suroeste de Zaragoza (Miralbueno, Oliver y Valdefierro) se encuentran en un espacio de transición con valores por encima del 70% en los sectores más céntricos, y disminuyendo de forma rápida hasta menos del 10% en las zonas periféricas.

Por último, los únicos barrios de la ciudad de Zaragoza que en ningún caso pueden ser alcanzados en menos de 30 minutos son el sector sur de Valdefierro y la totalidad del barrio de Arcosur.

El área que puede llegar a ser accesible en 30 minutos de trayecto trasciende el núcleo central de la ciudad de Zaragoza y llega hasta el entorno de algunos barrios rurales y municipios de la primera corona metropolitana. Esto hace que la estructura del área accesible se extienda a través de los principales corredores de transporte de la corona

metropolitana desdibujando la estructura en forma de anillos concéntricos que se observaba en el caso anterior y que sí se mantiene si únicamente observamos la ciudad de Zaragoza.

Los espacios metropolitanos presentan porcentajes de accesibilidad bajos, en su mayoría por debajo del 30% y en muchos casos por debajo del 10%. Los barrios rurales de San Juan de Mozarrifar (al norte), La Cartuja (suroeste) y Venta del Olivar (oeste) son los únicos espacios donde se supera este umbral del 30%.

El resto del área debe de ser entendida como un espacio donde sólo en los mejores momentos, ya sea porque una expedición de transporte público está a pocos minutos de pasar, o porque se disponga de algún servicio concreto más rápido, como es el caso del tren de cercanías, se puede alcanzar este espacio. En esta categoría encontramos localidades como Montañana, Villamayor de Gállego, La Puebla de Alfindén, Cuarte de Huerva, Monzalbarba y algunos sectores de Utebo.

5.1.3 Accesibilidad en transporte público a 1 hora

El tercer umbral de accesibilidad que se ha tratado en este estudio es el de los 60 minutos que queda representado en la Figura 5.1. Se trata de un periodo de tiempo elevado para un desplazamiento urbano en una ciudad media, si bien es una duración muy habitual en desplazamientos metropolitanos.

Por consiguiente, la totalidad de los barrios de la ciudad de Zaragoza presentan porcentajes de accesibilidad superiores al 90% en este umbral, es decir, los usuarios tienen la certeza de que llegarán hasta plaza de España desde cualquier punto de la ciudad invirtiendo menos de una hora. Este hecho es extensible a una gran cantidad de barrios rurales y a algunos municipios de la primera corona metropolitana. Es el caso de los barrios rurales de Juslibol, San Gregorio, Montañana y el municipio de Villamayor de Gállego, en la zona norte; La Cartuja, en la zona este; amplios sectores del municipio de Cuarte de Huerva, en el sur; así como, los barrios rurales de Venta del Olivar, Monzalbarba y Casetas, además del municipio de Utebo, en el corredor oeste. De hecho, es este último eje el que presenta un mayor desarrollo del área accesible más del 90% del tiempo fuera de los límites de la ciudad de Zaragoza.

En un segundo nivel, con valores entre el 70% y 90% encontramos el barrio rural de San Juan de Mozarrifar, en el área norte; el resto del área urbana del núcleo de Cuarte de Huerva, en el corredor sur; y el espacio circundante a la carretera del aeropuerto y el

barrio rural de Garrapinillos en el sector oeste. Por lo tanto, son espacios a los que se suele llegar en menos de 60 minutos, pero no siempre, por lo que los usuarios tienen que contar con algo más de tiempo a la hora de estimar su tiempo de viaje desde estos espacios.

En un tercer nivel de accesibilidad, con valores de disponibilidad entre un 50% y un 70% se encuentran algunos núcleos del corredor norte. En concreto, el municipio de Villanueva de Gállego, las urbanizaciones El Zorongo y Las Lomas de Gállego y el barrio rural de Peñaflores. Fuera de este sector también aparece este mismo nivel de accesibilidad en la zona más próxima a las paradas de autobús del municipio de La Puebla de Alfindén, y en gran parte del polígono PLAZA. Estos dos últimos espacios se encuentran relativamente próximos a la ciudad de Zaragoza, pero son servidos por líneas de transporte con baja frecuencia y, en el caso de La Puebla de Alfindén, con una cadencia entre servicios irregular. Por esta razón presentan valores más bajos que otros espacios colindantes a la ciudad de Zaragoza como pueden ser Montañana, Villamayor de Gallego, La Cartuja o Venta del Olivar donde el umbral de 60 minutos se cumple más de un 90% del tiempo.

De esta manera, se completa la totalidad de los municipios de la primera corona metropolitana de Zaragoza, así como todos los barrios rurales de Zaragoza con cierta entidad demográfica. Se puede afirmar, por tanto, que con criterio general, estos espacios tienen tiempos medios de transporte iguales o inferiores a una hora, pues poseen valores de accesibilidad superiores al 50%. Por el contrario, no se puede asegurar que un viaje en transporte público hasta Plaza de España vaya a quedar dentro de ese umbral.

Si continuamos disminuyendo el nivel de accesibilidad nos encontramos ya con espacios de la segunda corona metropolitana. De entre ellos, los que gozan de mejor accesibilidad son los municipios de Alfajarín, El Burgo de Ebro, en el corredor este; y Cadrete y María de Huerva, en el corredor sur; superando el 30%. También se encuentra en esta situación el resto del núcleo urbano de La Puebla de Alfindén, en el eje este, siendo el único espacio de la primera corona metropolitana que no supera el 50% de disponibilidad para un viaje de 1 hora a Plaza de España.

Con valores de accesibilidad entre el 30% y el 10% se sitúan áreas donde, aunque los tiempos de recorrido en autobús o tren son generalmente inferiores a una hora, ya que la distancia recorrida no excede los 30 kilómetros, la escasez e irregularidad de las expediciones de transporte público suponen tiempos de espera muy dilatados que provocan

que el tiempo total de transporte sea claramente superior a este umbral. Los núcleos en esta situación son: Zuera, en el sector norte; Nuez de Ebro, Villafranca de Ebro y Fuentes de Ebro, en el este; La Muela, y su importante polígono industrial Centrovía, en el suroeste; La Joyosa, La Marlofa y Alagón, en el oeste. Se trata de municipios que aglutinan una importante proporción de población del área metropolitana y que a pesar de eso tienen un nivel de accesibilidad bajo para un umbral de tiempo ya considerable dentro de un espacio metropolitano.

Los valores por debajo del 10% se corresponden de nuevo con la situación anteriormente descrita, acentuada por una frecuencia de expediciones todavía menor, en la que encontramos las localidades más alejadas, así como aquellas situadas fuera de los principales ejes de transporte. Es el caso de San Mateo de Gállego, al norte; Osera de Ebro, Pina de Ebro y Mediana de Aragón, al este; Muel, al sur; Sobradiel, Pinseque, Figueruelas y Pedrola, al oeste. Esta misma ubicación, alejada o fuera de los principales ejes, se cumple en el caso de aquellas poblaciones que no pueden ser alcanzados en ningún momento del día invirtiendo menos de 60 minutos; estos son: Jaulín, al sur; Épila, al suroeste; y Torres de Berrellén, al norte.

En definitiva, como podemos observar, el umbral de los 60 minutos presenta un amplio desarrollo a lo largo del área metropolitana y, además, evidencia valores muy distintos entre unas localidades y otras. La morfología que forman cada una de las áreas de accesibilidad descritas anteriormente muestran una clara estructura en forma de ejes, con frecuentes saltos en los espacios que se corresponden con municipios que contrastan con la estructura de anillos concéntricos observada para los umbrales de 15 y 30 minutos.

5.1.4 Accesibilidad en transporte público a 1 hora y media

En cuarto lugar, dada la existencia de valores de accesibilidad bajos en el umbral anterior, vamos a analizar el umbral de los 90 minutos, es decir, una hora y media de tiempo de transporte. Se corresponde con un periodo de tiempo total de viaje dilatado para un espacio metropolitano de una ciudad media, máxime si tenemos en cuenta que un desplazamiento de ida y vuelta implicaría con esperas unas 3 horas. Al tratarse de un periodo de tiempo amplio, se deberían esperar unos niveles de accesibilidad elevados en la práctica totalidad de los municipios.

Como podemos observar en el mapa de la Figura 5.1 este hecho sí se cumple, por lo general, en la primera corona metropolitana, especialmente en los corredores norte, sur y oeste, donde encontramos que el tiempo total de viaje, en cualquier momento del día, no

supera la hora y media. En comparación con la cartografía anterior, destaca el importante crecimiento en términos de extensión del área correspondiente con un espacio accesible más de un 90% del tiempo, de manera que, en los sectores norte y oeste, esta área conforma un continuo. Esto es así porque incluye el espacio no urbanizado entre poblaciones ya que el análisis realizado tiene en cuenta el tiempo caminando, de forma que, se puede invertir, por ejemplo, 1 hora caminando, 15 minutos de espera, y 20 minutos de trayecto. En consecuencia, todo este espacio es alcanzable puesto que contamos con una densidad de líneas suficientes, y normalmente, una frecuencia regular de media hora o menos.

Sin embargo, para el resto del área metropolitana la accesibilidad sigue siendo baja y seguimos encontrando momentos del día en los que se necesita más de hora y media para alcanzar Plaza de España a causa de los importantes tiempos de espera entre servicios. Es paradójico el hecho de que sí se puedan alcanzar espacios no urbanizados en los sectores anteriormente mencionados, aunque sea invirtiendo un tiempo relativamente importante caminando, pero no ocurra lo mismo con muchas localidades del entorno metropolitano. Como ya se ha hecho un comentario pormenorizado de la situación de los municipios en el caso anterior, vamos a abordar este análisis por corredores o ejes de transporte.

En el caso del eje norte encontramos valores de disponibilidad de más del 90% en todos los barrios rurales de Zaragoza, al ser atendidos por líneas con frecuencias iguales o inferiores a 30 minutos y por la proximidad a dicha ciudad. En el caso de los municipios de Villanueva de Gállego y Zuera encontramos valores por encima del 70% y del 50% respectivamente debido a la existencia de una línea con una frecuencia de paso irregular, pero próxima a una hora. Sin embargo, las localidades de San Mateo de Gállego y Ontinar de Salz presentan unos niveles de accesibilidad muy bajos con menos del 10% del tiempo alcanzables invirtiendo 90 minutos, ya que quedan al margen de los servicios de transporte que transitan por el corredor de Huesca y, en consecuencia, reciben contadas expediciones al día por lo que los tiempos de transporte son muy dilatados. Otro hecho reseñable es el marcado contraste entre el escaso nivel de accesibilidad en San Mateo de Gállego frente al vecino barrio rural de Peñaflor que es accesible más del 90% del tiempo; esto se debe de nuevo a que este barrio rural es servido por una línea urbana con una frecuencia regular de 30 minutos.

En el sector este se repite esta misma situación de contraste entre barrios rurales y municipios servidos por las líneas del CTAZ. En este caso, el barrio rural de La Cartuja es

accesible más del 90% del tiempo, ya lo era en el umbral de 60 minutos, mientras que, el resto de los municipios del área están por debajo de este porcentaje a excepción de La Puebla de Alfindén, por su proximidad a Zaragoza. Los niveles de accesibilidad van decayendo con la distancia en los dos ejes de transporte que integran este espacio (Carreteras de Barcelona y Castellón), de forma que los municipios de Alfajarín y El Burgo de Ebro están accesibles más de un 70% del tiempo, mientras que Osera, Pina de Ebro y Mediana de Aragón presentan valores de entre un 10% y un 30%.

En el eje Sur se repite esta última casuística entre Cuarte de Huerva, con más de un 90% del tiempo accesible y Botorrita o Jaulín por debajo del 30% y del 10% respectivamente. Merece la pena reseñar que municipios importantes como Cadrete o María de Huerva siguen por debajo del 70% de disponibilidad porque cuentan con una línea de transporte metropolitanas con una frecuencia aproximada de 1 hora, pero con intervalos entre servicios irregulares. Esta situación es análoga a la de Villanueva de Gállego que goza de una línea de transporte de similares características y se encuentra también en este mismo nivel de accesibilidad.

En el corredor suroeste encontramos los niveles de accesibilidad más bajos, entre el 50% y el 70% en La Muela y menos de un 10%, en Épila. Esta situación se relaciona con el hecho de que sólo el primer municipio cuenta con transporte metropolitano con una distribución de frecuencias similar a la anteriormente descrita.

Por contraste, el corredor oeste es el que vuelve a presentar los mayores niveles de accesibilidad, pero únicamente por una mayor extensión de los barrios rurales que son servidos por líneas con frecuencias inferiores. El ejemplo más paradigmático es Casetas, que se encuentra a 17 km de distancia del centro de Zaragoza y recibe un autobús cada 10 minutos. Los municipios de este espacio presentan valores similares a los de otros corredores. La Joyosa, La Marlofa y Sobradiel mejoran su accesibilidad hasta superar un 50% de tiempo accesible; Alagón, Pinseque y Torres de Berrellén a más del 30% y los municipios con menor disponibilidad quedan por encima del 10% en todos los casos.

En conclusión, para la gran mayoría de municipios metropolitanos no se puede asegurar un desplazamiento hasta el centro de Zaragoza en menos de hora y media a pesar de ser este un tiempo más que considerable. El poder realizar este desplazamiento dependerá del momento exacto en que se decida emprender el viaje, puesto que todas las localidades pueden llegar a ser alcanzadas en algún momento concreto respetando este

umbral, pero las más alejadas lo son menos del 30%, e incluso del 10% del tiempo comprendido entre las 6h. y las 22h. de un día laborable.

5.1.5 Accesibilidad en transporte público a 2 horas

Dada la existencia de porcentajes bajos de accesibilidad en muchos municipios de la segunda corona metropolitana en el umbral anterior, se va a analizar un último umbral, que se corresponde con las 2 horas de tiempo total de viaje, y que queda recogido en el mapa de la Figura 5.1. En este caso se detallarán las mejoras experimentadas en los municipios más alejados de Zaragoza pues el resto de las poblaciones ya poseían valores superiores al 90% en el caso de la hora y media de trayecto.

Comenzando por el corredor norte todos los núcleos de población son accesibles en 2 horas desde Zaragoza durante todo el día, a excepción de Ontinar de Salz y San Mateo de Gállego con valores de entre el 10% y el 30%, por las causas anteriormente expuestas. Se trata de un nivel de accesibilidad muy bajo teniendo en cuenta la amplitud del umbral de tiempo analizado.

En el sector este ambos corredores han experimentado un incremento en el nivel de accesibilidad. Refiriéndonos a los municipios de mayor entidad demográfica encontramos que Alfajarín y El Burgo de Ebro presentan un valor de accesibilidad por encima del 90%, Fuentes de Ebro entre el 50% y el 70% y Pina de Ebro, entre el 30% y el 50%. En los dos últimos casos se consideran umbrales bajos para localidades que superan los 4000 y 2000 habitantes respectivamente. El menor nivel de accesibilidad lo presenta Mediana de Aragón (entre el 10% y el 30%), que se corresponde con el nivel mínimo de accesibilidad que se va a encontrar en los núcleos de población para este umbral de tiempo, si bien es un municipio de poco más de 400 habitantes, alejado del eje principal y a 30 kilómetros de la capital, lo que justifica que el nivel de servicio sea menor.

En el corredor sur, la zona accesible en dos horas durante cualquier momento del día se extiende hasta María de Huerva, después encontramos municipios como Botorrita, Mozota y Muel por encima del 50%, siendo el de menor accesibilidad, Jaulín (entre un 30% y un 10%), al estar separado del eje central.

El eje sureste continúa siendo el de menor accesibilidad general de entre todos los corredores. La localidad de La Muela sólo puede ser alcanzada invirtiendo 2 horas de viaje desde plaza de España entre un 50% y un 70% del día. Se trata de valores bajos si tenemos en cuenta que su población supera los 5000 habitantes. El otro municipio de este eje, Épila,

es todavía más problemático, ya que presenta valores muy inferiores, de entre el 10% y el 30%, a pesar de superar los 4000 habitantes. Se considera un valor muy bajo para su tamaño demográfico aun teniendo en cuenta su distancia a Zaragoza (43km) y su excentricidad respecto a la Autovía de Madrid.

El corredor oeste vuelve a presentar el mayor desarrollo del área accesible más de un 90% del tiempo de entre todos los corredores también para este umbral. Sin embargo, destaca el hecho de que municipios importantes del área como Alagón (que supera los 7000 habitantes), o Pedrola (casi 4.000) son alcanzables, entre un 50% y un 70% y entre un 30% y un 50% del tiempo respectivamente invirtiendo 2 horas entre esperas y trayecto. De nuevo, se trata de valores bajos para municipios de cierta entidad demográfica, especialmente en el caso de Alagón. Esta situación contrasta con la de Zuera, municipio similar en entidad demográfica y distancia que Alagón, y que se sitúa por encima de un 90% de accesibilidad para este umbral.

En definitiva, el análisis de la serie de mapas presentada en este epígrafe evidencia como existe un fuerte contraste en la accesibilidad entre la ciudad de Zaragoza y su área metropolitana.

En el caso de la ciudad de Zaragoza, la práctica totalidad se puede alcanzar invirtiendo media hora o menos desde la Plaza de España durante todo el día, siendo la única excepción la de algunos de los barrios más periféricos de la ciudad, donde generalmente se cumple este umbral, pero con porcentajes de tiempo inferiores al 90%. Además, una parte relativamente importante de la ciudad puede ser alcanzada en menos de 15 minutos más del 90% del tiempo lo que asegura unos tiempos de viaje muy cortos al centro de la ciudad. En consecuencia, se puede afirmar que la ciudad de Zaragoza posee un nivel de accesibilidad elevado

Por el contrario, el entorno metropolitano de Zaragoza presenta niveles de accesibilidad mucho menores, existiendo un marcado contraste entre espacios. De hecho, se debe ampliar el umbral a una hora para encontrar porcentajes elevados de tiempo en el que un espacio es accesible fuera de la ciudad de Zaragoza. Este nivel de accesibilidad se corresponde en la mayoría de los casos con barrios rurales pertenecientes al municipio de Zaragoza y sólo dos municipios de la primera corona metropolitana (Cuarte de Huerva y Villamayor de Gállego). En el lado opuesto, aumentando el umbral hasta las 2 horas,

encontramos municipios de cierta entidad demográfica con porcentajes de accesibilidad bastante bajos, que en el peor de los casos se quedan entre un 10% y un 30% del tiempo.

5.1.6 Clasificación de calidad en función de la accesibilidad en transporte público

Integrando los análisis anteriores se ha desarrollado un índice de calidad del servicio cuyo proceso de construcción queda reflejado en el epígrafe 4.4.2 de la metodología de este estudio. Este indicador nos proporciona un valor de calidad de acceso al centro de Zaragoza para un espacio determinado en función del porcentaje de tiempo que ese espacio es accesible para los cinco umbrales de tiempo desarrollados en el epígrafe anterior de forma conjunta. La relación entre ambas variables y la categoría de calidad dada a cada servicio viene recogida en la Tabla 4.13 del epígrafe citado anteriormente¹¹.

El mapa de la Figura 5.2 muestra la distribución de la calidad de la accesibilidad¹² que sigue un patrón concéntrico con los mayores valores en el centro de la Ciudad de Zaragoza y una disminución paulatina hacia el exterior, si bien, se extiende también a través de los principales ejes de transporte.

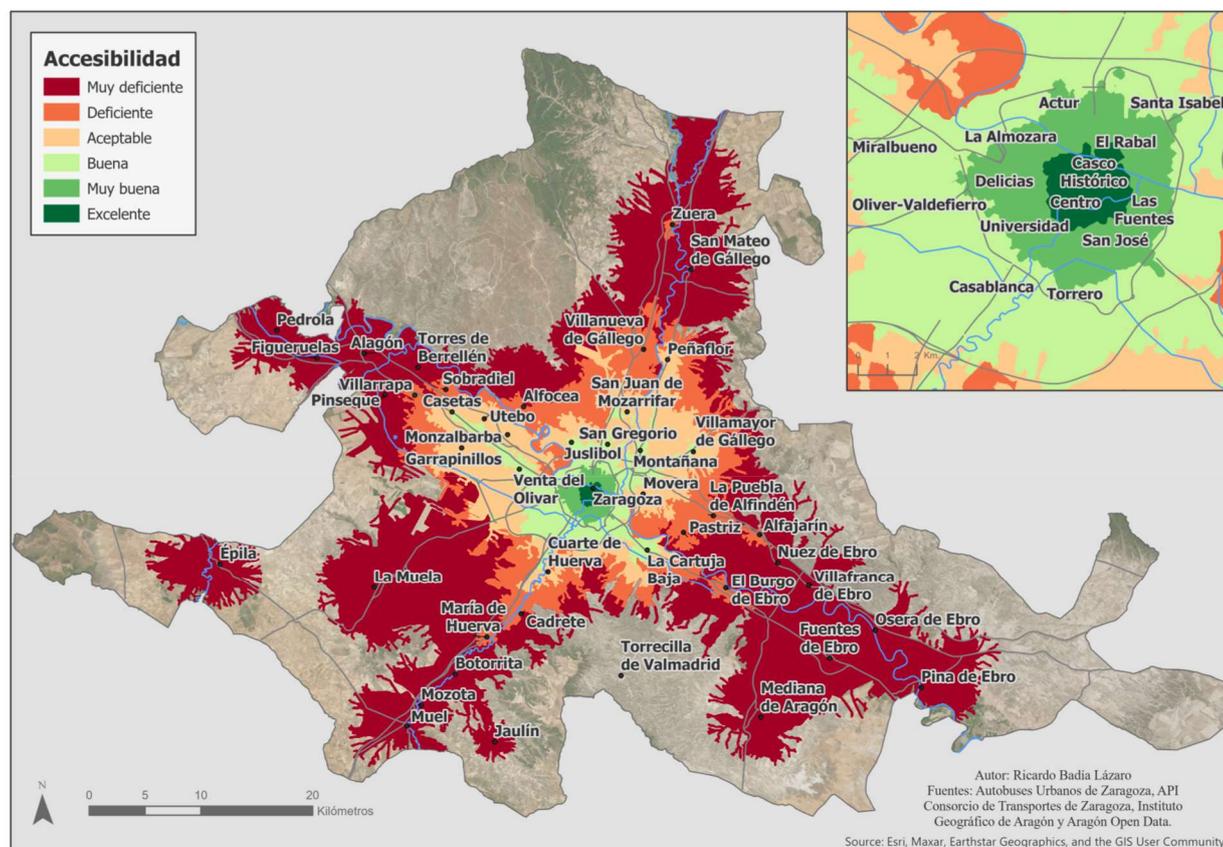
Las áreas clasificadas con un nivel de accesibilidad excelente son aquellas que permiten un desplazamiento a Plaza de España en menos de 15 minutos independientemente del momento del día. Presentan una morfología circular que se amolda muy bien a los límites de los distritos de Casco Histórico y Centro.

Las zonas con accesibilidad muy buena presentan tiempos de desplazamiento en los momentos de mayor duración entre los 15 y 30 minutos al centro de la ciudad. Se circunscriben de forma bastante fiel al tercer cinturón en la margen derecha del Ebro y al segundo en la margen izquierda englobando, por tanto, a la población de la mayoría de los barrios tradicionales de Zaragoza como Delicias, San José, Las Fuentes o El Arrabal, entre otros.

¹¹ Esta relación no es totalmente exacta ya que el índice presenta algunos factores correctores todos ellos expuestos en la metodología de este estudio, aunque sí es bastante aproximada, por ello, se va a asumir como cierta a la hora de describir los resultados del presente epígrafe.

¹² Al haberse construido el índice utilizando una disponibilidad del 100% para cada uno de los cinco umbrales los espacios correspondientes con una categoría determinada suelen ser más restrictivos que los mostrados en los mapas de distribución de la accesibilidad. Sin embargo, como el cálculo del índice está determinado de forma que se añade puntuación por los resultados de los umbrales de menor duración de tiempo es posible también que una ubicación determinada aumente de categoría.

Figura 5.2: Mapa de distribución del índice de calidad de acceso (ICA)



Fuentes: AVANZA Zaragoza (2020^a); Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza (2020) y base de datos GTFS de esta investigación (2020). Elaboración propia

Las áreas caracterizadas por un nivel de accesibilidad aceptable engloban espacios cuyo desplazamiento al centro de la ciudad no supera en ningún caso la hora de duración. Cumplen este umbral los barrios periféricos de la ciudad de Zaragoza, predominantemente aquellos que se ubican más allá del tercer cinturón, a saber, Parque Goya, Santa Isabel, La Paz, Casablanca, Valdespartera, Arcosur, Montecanal, Valdefierro, Oliver y Miralbueno, entre otros, incorporando asimismo a los distritos rurales contiguos a la propia ciudad, como Juslibol o San Gregorio. Esta categoría de accesibilidad también se expande a lo largo de los principales ejes de transporte. En el corredor septentrional, se extiende hasta San Juan de Mozarrifar, ubicado en la margen derecha del Río Gállego, así como hasta Montañana en la margen izquierda. En el cuadrante noreste, abarca hasta Villamayor de Gállego; hacia el este, alcanza La Cartuja, y en la zona meridional, se extiende únicamente hasta ciertos sectores de Cuarte de Huerva. La expansión más significativa tiene lugar en el eje oeste, donde se prolonga notablemente a lo largo de la Carretera de Logroño, abarcando

las localidades de Venta del Olivar, Utebo y Casetas. En consecuencia, los principales barrios rurales de Zaragoza se encuentran comprendidos en este umbral, y solo tres municipios metropolitanos (Villamayor de Gállego, Cuarte de Huerva y Utebo) logran situarse dentro de dicho umbral. Ambos territorios comparten la presencia de un servicio de transporte público con una frecuencia regular programada cada 30 minutos.

El área clasificada como regular se corresponde con espacios cuyo desplazamiento a Plaza de España requiere no más de hora y media. Este espacio presenta un mayor desarrollo hacia el norte y oeste del área metropolitana. Se incluyen en esta clasificación los barrios rurales de Peñaflores, en el norte; Santa Fe, en el sur y Garrapinillos, en el oeste.

En lo que respecta a las áreas caracterizadas por un nivel de accesibilidad calificado como deficiente, se refiere a ubicaciones cuyos desplazamientos durante los periodos de menor disponibilidad de servicios pueden extenderse hasta las dos horas. Estas áreas se encuentran completamente dentro del contexto metropolitano. A pesar de ello, todavía identificamos municipios limítrofes con Zaragoza, tales como Villanueva de Gállego, Pastriz, La Puebla de Alfindén o El Burgo de Ebro, si bien los de mayor tamaño demográfico ya no se incluyen en esta categoría. En la segunda corona metropolitana pertenecen a este grupo Zuera, Alfajarín, Cadrete, María de Huerva y Sobradiel.

Seguidamente se han identificado como áreas de accesibilidad muy mala aquellas zonas donde existen momentos en los que se requiere más de dos horas para llegar a Plaza de España utilizando el próximo servicio de transporte disponible. Debido a la limitada frecuencia de algunas líneas, numerosos municipios del área metropolitana se incluyen en esta clasificación, siendo la mayoría de ellos parte de la segunda corona. Asimismo, la mayoría de los municipios de la segunda corona están dentro de este grupo, lo que abarca tanto a ayuntamientos poco poblados como a otros con una población superior a los 5000 habitantes, como es el caso de Alagón o La Muela. Éste último es el único municipio de la primera corona metropolitana que se encuentra en esta situación.

Finalmente, sin servicio de transporte público encontramos el barrio rural de Torrecilla de Valmadrid (24 habitantes), así como pequeños núcleos y espacios del diseminado pertenecientes a los diferentes municipios del área, todos ellos con muy poca o incluso sin población censada.

A la vista de los datos expuestos dentro del epígrafe 5.1 se puede dar por válida la hipótesis de partida que establece que el nivel de accesibilidad en transporte público en la

corona metropolitana de Zaragoza es insuficiente para asegurar un acceso adecuado y continuo al centro de la ciudad. Esto es así puesto que amplios sectores del área metropolitana presentan valores de calidad clasificados como deficientes o muy deficientes, si bien hay que matizar que, en la mayoría de los barrios rurales conjuntamente con los municipios de Villamayor de Gállego, Cuarte y Utebo sí se cumple esta premisa. En la base de estas diferencias se encuentran los servicios de transporte público, aspecto que se desarrolla en la discusión de esta tesis doctoral (Capítulo 6).

5.2 Características sociodemográficas de la población en función del nivel de accesibilidad en transporte público

En el epígrafe anterior se ha analizado la distribución espacial de la accesibilidad para diferentes umbrales temporales haciendo referencia a la proporción de tiempo que un espacio es accesible para cada uno de estos umbrales. Una vez conocida esta distribución de la accesibilidad se utilizarán estas variables para segmentar las características demográficas de la población que habita estos espacios. El propósito de este análisis es poder responder al tercer objetivo específico de la tesis doctoral: conocer las características sociodemográficas de la población en función del nivel de accesibilidad en transporte público desde sus domicilios.

De este objetivo se derivan dos hipótesis diferentes:

- La mayoría de la población del área de estudio reside en zonas con buena accesibilidad en transporte público.
- Las áreas con peor accesibilidad se corresponden con lugares habitados por población vulnerable.

Para abordar estas cuestiones, primero se examinará la cantidad de población según diversos niveles de accesibilidad. Luego, se analizará la variación de las características sociodemográficas de la población en relación con estos niveles de accesibilidad. Por último, se explorará la relación entre estas características sociodemográficas y el índice de calidad de la accesibilidad

5.2.1 Distribución entre la masa poblacional y la accesibilidad en transporte público

La Tabla 5.1 muestra la población con y sin servicio de transporte público para los umbrales anteriormente mencionados comparando la situación de la población del municipio de Zaragoza con la de los municipios de la corona metropolitana, tanto en términos absolutos como relativos. El principal aspecto destacable es la existencia de niveles de accesibilidad mucho mayores en la población del municipio de Zaragoza. Entrando en detalle podemos observar que casi la mitad de la población de Zaragoza puede llegar a Plaza de España invirtiendo menos de 15 minutos en algún momento del día, siendo superior al 95% la población que puede hacerlo dentro de un umbral de 30 minutos. Por el contrario, la población que tiene que invertir más de una hora es prácticamente testimonial, a pesar de que estamos considerando todo el municipio incluyendo los barrios rurales que, como se ha visto, a la hora de analizar la distribución de la accesibilidad cuentan con niveles claramente inferiores.

En lo referente a la población metropolitana, lógicamente ningún municipio llega a estar a menos de un cuarto de hora del centro de Zaragoza en transporte público dada la mayor distancia a la que se encuentran. Por esta misma razón, en el umbral de media hora tan sólo puede llegar a alcanzarlo un 25% de la población. Se debe aumentar el tiempo a 1 hora para poder llegar al 91,5% de la población, o dicho de otro modo, un 8,5% de la población del área metropolitana tiene que invertir más de 60 minutos para llegar a Zaragoza en el momento del día con menor tiempo de transporte.

Tabla 5.1: Población con servicio de transporte público según umbrales de tiempo.

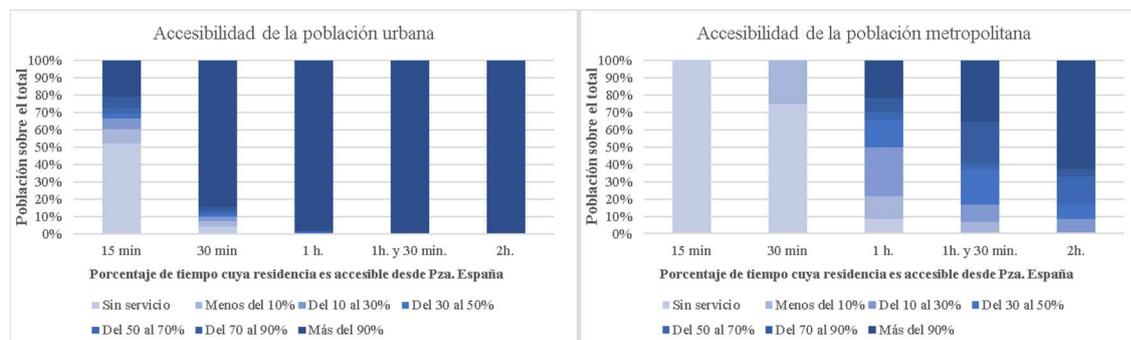
<i>Tiempo de viaje a Pza. España</i>	Población		Población sobre el total (%)	
	<i>Urbana</i>	<i>Metropolitana</i>	<i>Urbana</i>	<i>Metropolitana</i>
15 min.	341.892	0	47,71%	0,00%
30 min.	653.442	29.696	95,83%	25,44%
1h.	680.649	106.869	99,82%	91,53%
1h y 30 min.	681.126	116.744	99,89%	99,98%
2h.	681.877	116.744	100,00%	99,98%
Total	681.877	116.763	100,00%	100,00%

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica (2020); base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

Además de la posibilidad de un espacio de ser alcanzado dentro de un umbral de tiempo determinado, hay que tomar en consideración también la cantidad de tiempo que

ese espacio puede ser alcanzado dentro de dicho umbral. Por ello los gráficos de la Figura 5.3 expresan la accesibilidad en función de la cantidad de tiempo que un lugar es accesible en un día laborable¹³.

Figura 5.3: Accesibilidad de la población según distintos umbrales de tiempo desde Plaza de España



Fuentes: Base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020).

Elaboración propia.

Teniendo esto en cuenta se observa como el porcentaje de población que puede llegar a Plaza de España en 15 minutos disminuye desde el 47% anterior a un 30% para un porcentaje de tiempo accesible del 50% y a un 20% de la población si aumentamos dicho nivel hasta el 90%. Este último valor, un quinto de la población total, se refiere realmente a la población que tiene la seguridad de que en menos de un cuarto de hora podrá llegar al centro de la ciudad. A pesar de esta importante disminución, se trata de un nivel de accesibilidad excelente ya que un cuarto de hora es un periodo de tiempo muy corto.

En el umbral de los 30 minutos podemos apreciar como la diferencia entre los distintos niveles de disponibilidad es mucho menor, ya que un 95% de población cumple ese umbral en algún momento y un 85% lo hace para el 90% del tiempo de servicio. Esta décima parte de la población habita en los barrios periféricos descritos en el apartado 5.1.2. Para el resto de los umbrales las diferencias son insignificantes por lo que se puede afirmar que la práctica totalidad de la población del municipio de Zaragoza puede alcanzar en transporte público la Plaza de España en 1 hora o menos, independientemente del momento dentro de las horas de servicio. Para conocer más en detalle se pueden revisar las tablas contenidas en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

¹³ Se incluye únicamente el tiempo de servicio, que va desde las 6h. hasta las 22h. de un día laborable de forma análoga a lo expuesto a la hora de analizar la distribución de la accesibilidad.

En lo referente al área metropolitana de Zaragoza las diferencias entre la población que posee el peor nivel de accesibilidad (menos del 10% del tiempo) y la que posee el nivel de accesibilidad más alto es considerablemente mayor. De hecho, en el umbral de 30 minutos encontramos que un 25,4% de la población puede acceder a Plaza de España, pero sólo cuentan con esta opción de viaje menos de un 10% del tiempo. Se trata de parte de los habitantes de los municipios de la primera corona metropolitana (La Puebla de Alfindén, Cuarte de Huerva y Utebo). Esto quiere decir que, salvo excepciones puntuales, esa población tendrá un tiempo de viaje mayor.

Para un viaje de una hora de duración encontramos, por un lado, que un 8,5% de la población metropolitana no puede acceder nunca a Plaza de España, frente a algo más de un 20% de los habitantes que pueden hacerlo más de un 90% del tiempo. Esta disparidad entre ambos porcentajes es la mayor de todos los umbrales, y evidencia como la situación en el área metropolitana es mucho más heterogénea. Algunos ejemplos de estas dos situaciones son, por un lado, los municipios de Pedrola, Figueruelas y Épila que quedan fuera de este umbral durante todo el tiempo de este umbral y, por otro, algunos sectores de los municipios de Utebo y Cuarte de Hueva donde se cumple a lo largo de todo el tiempo de servicio. En general, la mayoría de la población metropolitana posee un nivel de accesibilidad bastante bajo para este umbral de tiempo. En concreto, dos tercios de la población metropolitana quedan con porcentajes de tiempo de acceso inferiores al 50% y la mitad de la población con porcentajes de acceso inferiores al 30%.

Para un umbral de una hora y media la accesibilidad mejora considerablemente. En primer lugar, ya no encontramos apenas población fuera de este umbral y esta se relaciona con pequeños núcleos dispersos de menos de 100 habitantes. En segundo lugar, algo menos de un 20% de población queda por debajo del nivel del 30% de tiempo accesible, y un 40% lo hace por debajo del nivel del 50%. Se trata en todos los casos de municipios de la segunda corona metropolitana como Alagón o Fuentes de Ebro entre otros, a excepción de La Muela, municipio colindante con Zaragoza. Por otro lado, casi un 60% de la población metropolitana queda por encima del 70% de tiempo accesible ya que aquellos municipios servidos por líneas del Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza (CTAZ) de la segunda corona metropolitana consiguen situarse en este umbral de accesibilidad (Villanueva de Gállego, Zuera, Alfajarín, Cadrete y María de Huerva, entre otros). Además, un tercio de la población metropolitana es accesible más de un 90% del tiempo a

este umbral; población que se corresponde íntegramente con municipios de la primera corona metropolitana.

En el caso del umbral de 2 horas de duración, por un lado, más del 60% de la población presenta un nivel de accesibilidad superior al 90%. Se trata, a grandes rasgos, de la suma de las dos poblaciones anteriormente mencionadas, es decir, la de la primera corona metropolitana más los municipios mejor servidos por el CTAZ de la segunda corona. Por el contrario, encontramos que un 20% de la población queda por debajo del nivel del 50% de tiempo accesible, y un 10% por debajo del nivel del 30%.

Aquí es necesario mencionar algunos casos paradigmáticos. En un principio se podría pensar que estos municipios son los de menor tamaño demográfico y que además quedan alejados de los ejes de transporte, y en parte esto ocurre por ejemplo con los casos de Ontinar de Salz, Mediana de Aragón o Pastriz, pero encontramos también algunos otros casos, de municipios con cierto tamaño demográfico como son San Mateo de Gállego, Pina de Ebro, Épila o Pedrola que poseen una población superior a algunos barrios rurales mucho mejor servidos.

En suma, las diferencias de accesibilidad fruto de las variaciones en la misma provocadas por la influencia de los horarios de las expediciones de transporte público son mucho mayores en el área metropolitana. Por lo tanto, la accesibilidad es mucho más uniforme a lo largo del día en el área urbana, que a su vez goza de niveles de accesibilidad muy elevados.

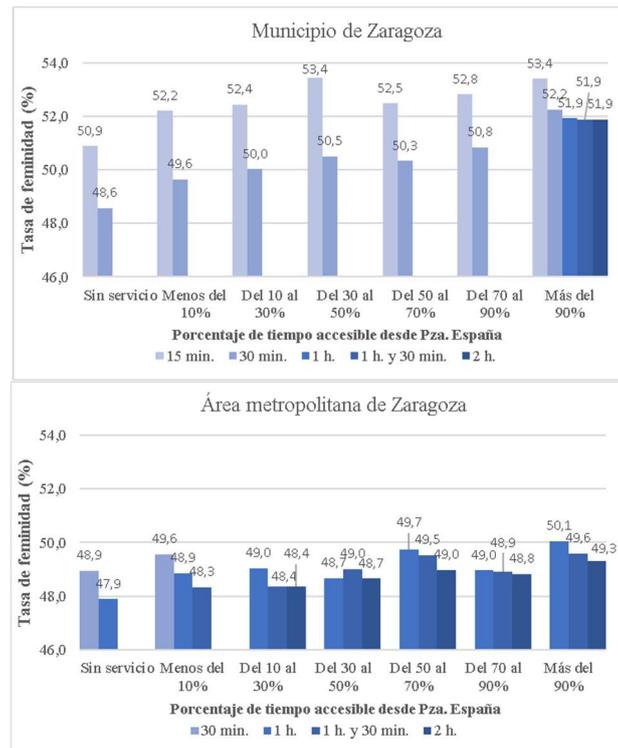
5.2.2 Distribución entre las características sociodemográficas de la población y la accesibilidad en transporte público.

Seguidamente, se va a analizar la relación existente entre la accesibilidad de los espacios y las características sociodemográficas de la población que reside en estos espacios. Con el fin de ilustrar este análisis se presentan en este epígrafe varios gráficos, los cuales muestran únicamente aquellas categorías que representan al menos un 1% del peso demográfico de la población del municipio de Zaragoza o de los municipios del área metropolitana respectivamente. Para una comprensión más detallada de los datos utilizados para generar estos gráficos, se incluyen varias tablas en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Accesibilidad según sexo

En primer lugar, abordaremos la estructura biológica de la población a través de dos de sus aspectos principales: la distribución por sexos, a través de la tasa de feminidad, y la estructura etaria.

Figura 5.4: Distribución de la tasa de feminidad según la accesibilidad en transporte público.



Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

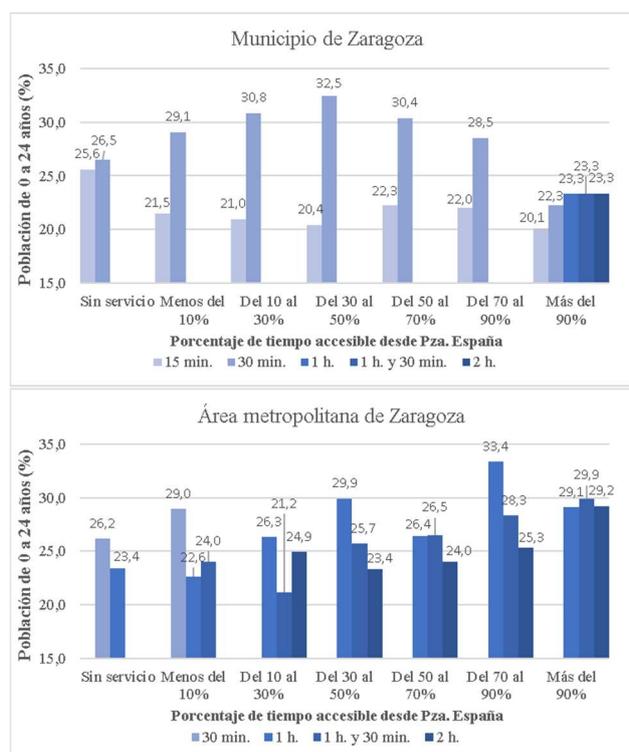
Dando inicio al análisis por la tasa de feminidad, representada en la Figura 5.4, se observa como esta es superior en el ámbito urbano (51,9% de media frente a 49,0% en el ámbito metropolitano). En consecuencia, existe una mayor proporción de mujeres en las localidades más céntricas del área metropolitana que son las pertenecientes al municipio de Zaragoza. Esta mayor proporción de mujeres en los espacios más accesibles sigue observándose a escala intraurbana. Para el umbral de 15 minutos de duración del trayecto, es decir, el más próximo a Plaza de España, encontramos valores por encima de la media para todas las categorías de porcentaje de tiempo que un espacio es accesible excepto para el de la población sin servicio. Además, se observa un patrón ascendente en el que aumenta la tasa de feminidad conforme lo hace el nivel de accesibilidad, siendo el valor máximo de esta tasa (54,3%) coincidente con el máximo nivel de accesibilidad (espacio accesible desde Plaza de España en 15 minutos más de un 90% del tiempo). Estos espacios se

corresponden con los distritos Centro y Casco Histórico, así como, aquellos sectores de los barrios tradicionales más próximas a estos.

Continuando con esta dinámica en el umbral de los 30 minutos se observan tasas de feminidad superiores a la media del municipio sólo para el umbral de máxima accesibilidad. Respecto a los umbrales de mayor duración, más de un 99,8% de la población de Zaragoza queda en el umbral de máxima accesibilidad tal y como se expuso en la Tabla 5.1, por lo que no se comentarán.

En cuanto a la distribución de la tasa de feminidad en el área metropolitana, de nuevo es más elevada en los espacios más accesibles. Así las pocas áreas que consiguen superar el umbral de los 30 minutos presentan una tasa de feminidad superior a la media (49,6%). En cuanto al siguiente umbral, el de 1 hora, la tasa de feminidad aumenta conforme lo hace la accesibilidad. En este sentido, los valores más altos se sitúan a partir del 50% de tiempo accesible, siendo el mayor el correspondiente al máximo nivel de accesibilidad (50,1%). Para el resto de los umbrales se repite esta estructura ascendente, pero con valores que disminuyen conforme lo hace la accesibilidad, de forma que para los límites de 1 hora y media y 2 horas encontramos valores que llegan hasta el 49,6% y 49,3% respectivamente.

Figura 5.5: Distribución de la proporción de población joven según la accesibilidad en transporte público.



Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

En conclusión, la tasa de feminidad presenta una relación muy clara con la accesibilidad: a mayor accesibilidad mayor es la tasa de feminidad. Este hecho, se cumple fielmente tanto en la comparación entre el área metropolitana y el municipio de Zaragoza, como entre municipios del área metropolitana e incluso a escala intraurbana en la ciudad de Zaragoza.

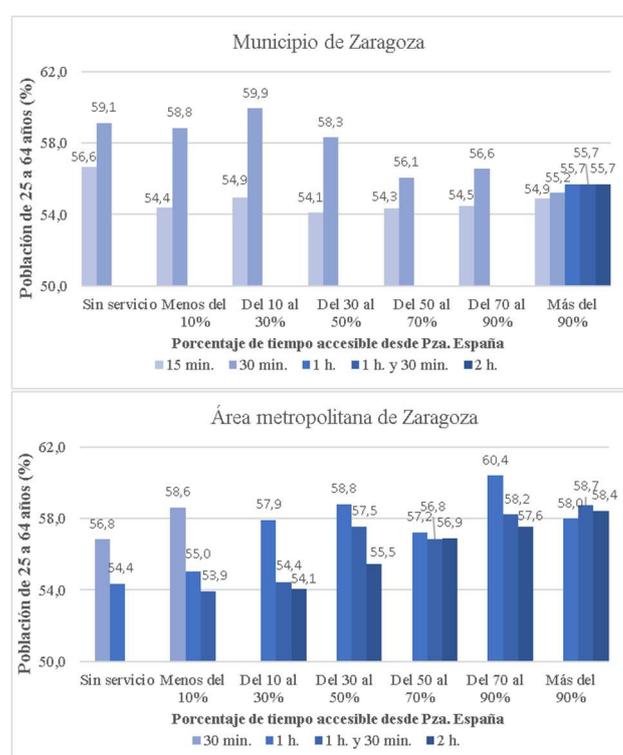
Accesibilidad según grupos de edad

El segundo aspecto por relacionar con la accesibilidad referente a las características biológicas de la población es la estructura por edad. El gráfico de la Figura 5.5 se corresponde con la población joven (de 0 a 24 años) de la ciudad de Zaragoza y de su área metropolitana. La media de población joven en el municipio de Zaragoza es de 23,3% frente a un 26,6% en el área metropolitana. En el caso de Zaragoza las zonas con mejor accesibilidad presentan las proporciones de población joven más bajas. De hecho, el espacio con mejor accesibilidad de toda el área de estudio (es decir, aquel que es accesible a Plaza de España en 15 minutos más de un 90% del tiempo) presenta también la menor proporción de jóvenes (20,1%) del área. Por el contrario, las zonas con la proporción más elevada se corresponden con aquellas de niveles inferiores al 50% de tiempo accesible a un umbral de 30 minutos, es decir, niveles de accesibilidad propios de barrios periféricos como Parque Goya, Santa Isabel, Valedespartera, Arcosur, Miralbueno, Oliver y Valdefierro, todas ellas zonas de nuevo desarrollo o con un importante crecimiento en las últimas décadas.

En el área metropolitana la población joven tiende a ser mayor en los espacios con mejor accesibilidad, aunque no ocupan aquellos con los valores superiores. Existe una proporción mayor de población joven en las zonas accesibles a 30 minutos menos de un 10% del tiempo, pero los valores más altos se corresponden a las zonas accesibles entre un 70% y un 90% del tiempo a un umbral de duración del trayecto de 1 hora (33,4%), presentando valores elevados también en los rangos de entre el 30% y el 50% y de más del 90% (29,9% en ambos casos). Para el caso del umbral de hora y media la mayor proporción de jóvenes se da para periodos de tiempo accesible superiores al 70% y sobre todo al 90%. Sin embargo, los espacios peor servidos del área metropolitana, aquellos por debajo del 90% de tiempo de acceso a 2 horas, poseen en todos los casos valores de población joven por debajo de la media.

En suma, la población joven es más numerosa en aquellos espacios con niveles de accesibilidad medios-altos. Estamos hablando de espacios con porcentajes de tiempo accesibles medios para el umbral de 30 minutos, y altos para un umbral de 1 hora o superior. Estos espacios se corresponden con los nuevos barrios periféricos de la ciudad de Zaragoza, los barrios rurales y los municipios de la corona metropolitana, aunque también están presentes en toda el área. Por el contrario, la población joven presenta menores proporciones tanto en las zonas con mayor accesibilidad de la ciudad de Zaragoza, como en los municipios peor servidos del área metropolitana.

Figura 5.6: Distribución de la proporción de población adulta según la accesibilidad en transporte público.



Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

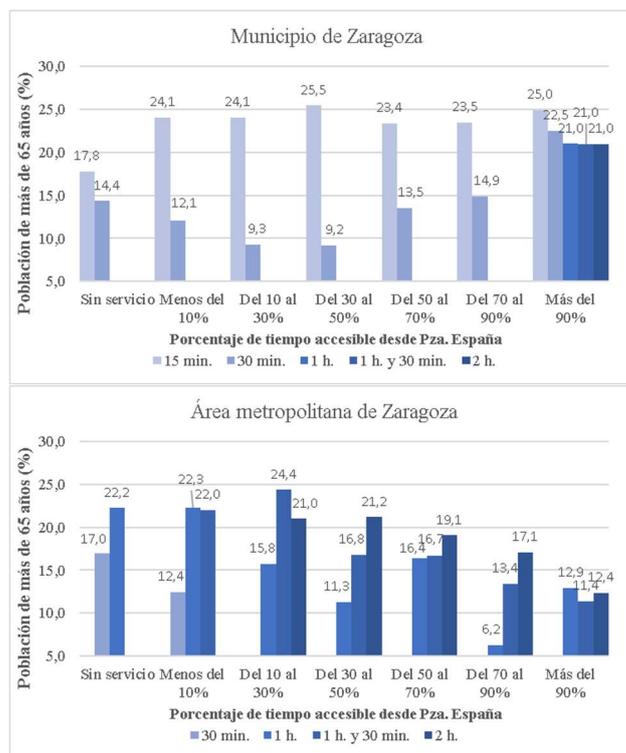
El segundo rango de edad a analizar es el de la población adulta (entre 25 y 64 años). La proporción de población adulta (Figura 5.6) es ligeramente inferior en el municipio de Zaragoza (55,7%) frente al área metropolitana (57,4%). En relación con Zaragoza, encontramos que las diferencias no son muy pronunciadas, si bien los porcentajes son menores en el umbral de los 15 minutos, frente al de 30 minutos. Además, dentro de este último umbral, las mayores proporciones se dan en las zonas con peor accesibilidad (valores por debajo del 30% de tiempo alcanzable) por lo que se trata de una

estructura similar a la de la población joven, aunque menos marcada por la menor diferencia entre valores.

En lo que respecta al área metropolitana, se perfila un patrón similar al de la población joven. Por un lado, los valores por encima de la media se refieren a zonas con porcentajes de accesibilidad medios y altos para el umbral de 1 hora, y altos para el umbral de 1 hora y media, en ambos casos con una estructura ascendente con mayor proporción de personas adultas a mayor porcentaje de tiempo accesible. Por otro lado, la proporción de población adulta más baja se da en las zonas con menor disponibilidad del servicio (30% o menos de tiempo accesible) para todos los umbrales excepto para el de 30 minutos. En consecuencia, la población adulta también presenta una menor predisposición a vivir en los municipios con peor accesibilidad del área metropolitana.

En resumen, la proporción de población adulta destaca por ser bastante constante. Si tomamos en consideración las escasas variaciones veremos un patrón que se relaciona mucho más con el de la población joven que con el de la tercera edad. Así, encontramos porcentajes ligeramente superiores en los barrios periféricos de Zaragoza, los barrios rurales, y la mayoría de los municipios del área metropolitana especialmente los de la primera corona. Sin embargo, la población adulta es más propensa que la población joven a ocupar espacios del centro y los barrios tradicionales de Zaragoza, así como, de los municipios más rurales del área, aunque su proporción sea inferior a la media.

Figura 5.7: Distribución de la proporción de personas de la tercera edad según la accesibilidad en transporte público.



Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

El último grupo etario es el que se corresponde con la población de la tercera edad (65 y más años). Su proporción es claramente superior en el municipio de Zaragoza (21,0%) que en los municipios del área metropolitana (16,0%).

En contraste con los dos grupos anteriores la población más envejecida se sitúa en los espacios con mejores niveles de accesibilidad del municipio relacionándose más con el patrón descrito para la tasa de feminidad. No es de extrañar, ya que una mayor tasa de feminidad suele ir acompañada de una población más envejecida por la mayor esperanza de vida de las mujeres frente a los hombres. Además, en este caso las diferencias son importantes, así encontramos valores entre el 24% y el 26% para los diferentes niveles de accesibilidad en el umbral de 15 minutos. No obstante, para el umbral de los 30 minutos, los valores se sitúan entre el 9% y el 15% en niveles de accesibilidad inferiores al 90%. Los umbrales de mayor duración, correspondientes a los barrios rurales, igualan el valor medio (21,0%). Dicho de otro modo, en el municipio de Zaragoza el porcentaje de habitantes mayores de 65 años aumenta gradualmente a medida que nos aproximamos al centro de la ciudad, donde estos residentes ocupan los espacios mejor conectados por transporte público.

Si para la ciudad de Zaragoza el grupo etario de la tercera edad se situaba en las zonas con mayor accesibilidad, en el caso del área metropolitana ocurre justo lo contrario. En todos los umbrales estudiados la proporción de ciudadanos de la tercera edad disminuye conforme aumenta la accesibilidad, presentando valores muy bajos en las zonas con mayor tiempo de servicio para el umbral de 1 hora. (6,0% y 11,4% para niveles de entre el 70% y el 90% y más del 90% respectivamente). En el otro extremo, la población que no puede alcanzar en ningún momento el centro de Zaragoza en menos de 1 hora supera el 22%, y se presentan valores de entre el 21% y el 24% para los espacios menos accesibles en los umbrales de duración superior (hora y media y 2 horas).

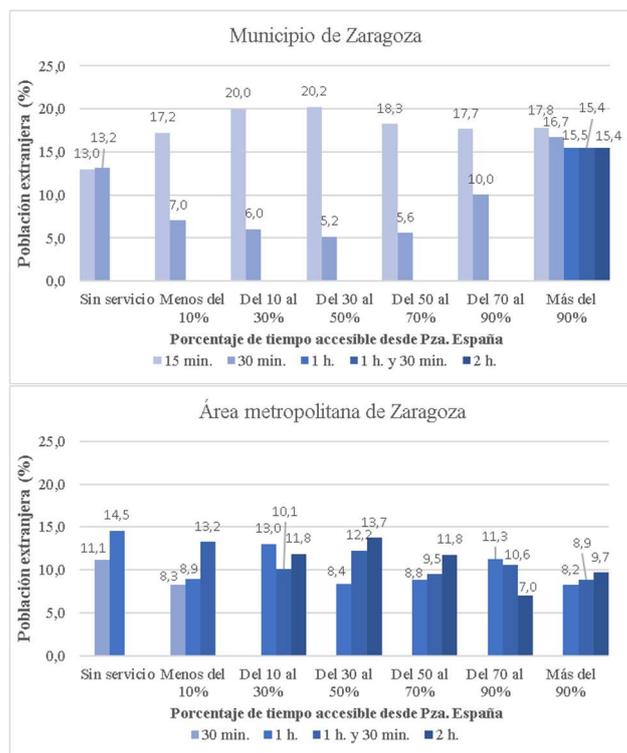
Por lo tanto, la población de la tercera edad presenta dos patrones diferenciados: ubicándose primordialmente en zonas con muy buena accesibilidad en el municipio de Zaragoza, y ocupando los espacios con peor accesibilidad del área metropolitana. Se trata de una distribución contraria a la de la población más joven.

A la luz de los resultados anteriores podemos afirmar que, la población joven se sitúa en mayor proporción en los barrios periféricos y la primera corona metropolitana. En segundo lugar, la población adulta se distribuye con cierta regularidad por toda el área de estudio, mientras que la población de la tercera edad presenta una distribución más polarizada. Esta última ocupa, por una parte, las zonas más céntricas de la ciudad de Zaragoza como el casco histórico y los barrios tradicionales, y por otra, los municipios con una ruralidad más marcada en el caso del área metropolitana.

Accesibilidad de la población según nacionalidad

Una vez analizadas las características biológicas de la población vamos a estudiar dos parámetros sociodemográficos de importancia como son la población extranjera y la renta media por persona. Comenzando por la población extranjera (Figura 5.8) su tasa es mayor en el municipio de Zaragoza (15,4%) frente al entorno metropolitana (10,8%). En cuanto a su distribución dentro del municipio de Zaragoza se observa que es mayor en aquellos lugares que son accesibles desde Plaza de España en porcentajes de tiempo medios (de entre un 30% y un 70%).

Figura 5.8: Distribución de la población extranjera según la accesibilidad en transporte público.



Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

Estos lugares se corresponden con los barrios tradicionales, que presentan una trama urbana densa y con multitud de edificaciones de relativa antigüedad. También encontramos valores por encima de la media para tiempos de acceso superiores al 70% a 15 minutos debido a la elevada proporción de extranjeros en algunos sectores del casco antiguo como ocurre en los barrios de San Pablo o La Madalena. En lo referente al umbral de los 30 minutos, su proporción es muy baja para niveles de accesibilidad bajos y medios (con una relación de población extranjera que fluctúa entre el 5% y el 10%) puesto que estos niveles se vinculan con los barrios periféricos donde encontramos la mayor proporción de población nacional.

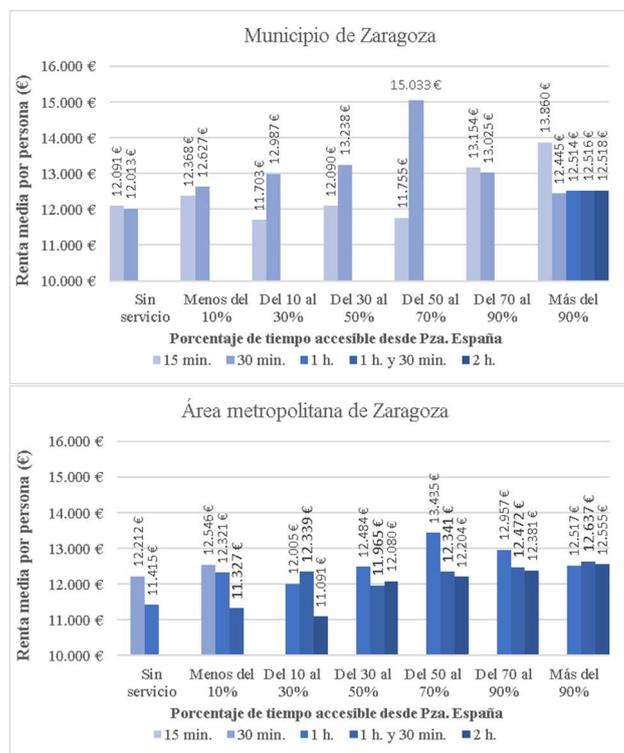
En el área metropolitana de Zaragoza la proporción de población extranjera es relativamente constante a lo largo de todos los umbrales, siendo algo más numerosa en los espacios con menor accesibilidad. De esta forma encontramos que el porcentaje más alto (14,5%) se corresponde con los espacios inaccesibles dentro de una duración de viaje de 1 hora y aquellos valores superiores al 13% se circunscriben a espacios con valores de accesibilidad inferiores al 30% y al 50% del tiempo para los umbrales de 1 hora y media y 2 horas respectivamente.

En consecuencia, la población extranjera reside en espacios que gozan de una buena accesibilidad en transporte público dentro de la ciudad de Zaragoza. Por el contrario, ocupan los lugares con peor acceso en el área metropolitana. Por lo tanto, la población nacional se sitúa primordialmente en espacios intermedios, fuera del centro de la ciudad, pero también de los municipios peor servidos de la segunda corona metropolitana.

Accesibilidad según renta media por persona

Para finalizar este análisis se va a estudiar la relación entre la renta media por persona y la accesibilidad, aspecto que viene recogido en la Figura 5.9. La renta media por persona se refiere al cociente entre los ingresos netos del hogar y el número de convivientes de dicho hogar (Instituto Nacional de Estadística, 2023). A grandes rasgos podemos ver como la renta media por persona es ligeramente superior en el municipio de Zaragoza frente al resto (12.515 € frente a 12.292 €). Los espacios con mayores niveles de renta dentro del municipio de Zaragoza se corresponden, por un lado, con las zonas con mejor accesibilidad dentro del límite de desplazamiento de 15 minutos (13.860 €), y por otro, con población que presenta tiempos de acceso medios-altos para un desplazamiento de 30 minutos (15.033 €). En este último caso, estos espacios se vinculan con sectores de vivienda unifamiliar en algunos barrios periféricos de elevada renta como Montecanal o Urbanización el Zorongo. En el municipio de Zaragoza, no se observan grandes desvíos a la baja en la distribución de la renta en ninguna de las categorías estudiadas. Las únicas zonas con niveles de renta por debajo de los 12.000 € se corresponden con espacios con una facilidad de acceso media-baja para el límite de 30 minutos de trayecto, relacionándose en este caso con algunos barrios rurales.

Figura 5.9: Distribución de la renta media personal según la accesibilidad en transporte público.



Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

La distribución de la renta en el área metropolitana presenta un patrón menos contrastado que en el caso anterior con un paulatino crecimiento conforme aumenta la accesibilidad. Así los valores de renta superiores a los 12.500 € se relacionan con áreas de accesibilidad media-alta o alta para el umbral de 1 hora, y alta para los umbrales de 1 hora y media y 2 horas. Las zonas con menor renta se corresponden con las áreas de peor accesibilidad del entorno metropolitano. De esta forma encontramos valores inferiores a los 11.000 € para la población que no puede acceder dentro del umbral de tiempo de 1 hora, así como, para porcentajes de tiempo de servicio bajos para los umbrales de tiempo más prolongados (1 hora y media y 2 horas),

En conclusión, los ciudadanos con mayor capacidad económica eligen principalmente el centro de Zaragoza, así como, urbanizaciones periféricas dentro del término municipal de la ciudad. Mientras que, los ciudadanos con menor nivel de renta se ubican en los barrios tradicionales y en los municipios peor servidos del entorno metropolitano.

5.2.3 Relación entre las características sociodemográficas de la población y el índice de calidad de acceso.

Se procede, a continuación, a analizar la relación existente entre las características sociodemográficas anteriormente expuestas en función de los diferentes niveles de calidad, fruto de aplicar el índice clasificatorio expuesto en el apartado de 4.4.2. Esta relación queda recogida en la Tabla 5.2 y la Tabla 5.3.

Tabla 5.2: Características sociodemográficas de la población del municipio de Zaragoza según accesibilidad al centro de la ciudad.

Calidad de acceso	Población	Población sobre el total (%)	Mujeres sobre el total (%)	Población de 0 a 24 años (%)	Población de 25 a 64 años (%)	Población de 65 años y más (%)	Población extranjera (%)	Renta personal media (€)
Excelente	108.126	15,1	53,5	19,7	55,0	25,3	18,2	14.279 €
Muy buena	371.257	51,8	52,2	21,5	55,1	23,4	18,7	11.718 €
Buena	218.068	30,4	50,8	28,0	57,0	15,0	8,8	13.041 €
Regular	17.275	2,4	48,9	25,0	56,9	18,1	12,6	12.092 €
Deficiente	887	0,1	40,7	22,7	63,0	14,3	13,5	11.023 €
Muy deficiente	938	0,1	39,3	25,9	67,8	6,3	7,0	11.728 €
Sin servicio	25	0,0	44,0	12,0	52,0	36,0	0,0	9931 €
Total	681.877	100,0	51,9	23,3	55,7	21,0	15,4	12.515 €

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica (2020); base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

Tal y como se puede apreciar en la tabla anterior, más del 15% de la población de la ciudad de Zaragoza disfruta de una accesibilidad en transporte público que puede ser calificada como excelente. Como se indicó en el epígrafe 5.1.6, este grupo está principalmente compuesto por residentes de los distritos de Centro y Casco Histórico. En cuanto a sus características sociodemográficas, el aspecto más destacado es el envejecimiento de esta población. Es evidente que se trata de una población claramente envejecida, ya que presenta la mayor proporción de población de la tercera edad de todos los rangos estudiados (25,3%). En consecuencia, también registra el índice de feminidad más alto (53,5%). No obstante, este elevado envejecimiento no es el único rasgo definitorio de este espacio ya que también exhibe una de las proporciones de población extranjera más altas de la ciudad (18,2%), así como el nivel de renta más elevado de toda el área de estudio (14.279 €). Estos indicadores nos muestran que se trata de un espacio de coexistencia entre un grupo de población de nacionalidad española muy envejecido y con altos niveles de renta, que habita principalmente en el distrito Centro, y otro grupo de población extranjera, más joven y con un nivel de renta inferior.

El siguiente grupo es el referente a un nivel de accesibilidad muy buena. Sobresale por su considerable contingente poblacional, representando un 51,8% de la población total del municipio, lo que se traduce en una cifra superior a los 370.000 habitantes. Se corresponde con la población de los barrios tradicionales de la ciudad de Zaragoza, que presentan una elevada densidad demográfica. En términos de composición poblacional, este conjunto se distingue por albergar la mayor proporción de residentes extranjeros en todo el ámbito de estudio, cifrada en un 18,7%. En cuanto a la distribución por edad, posee un índice de envejecimiento ligeramente superior a la media, con un 23,4% de su población conformada por individuos de edad avanzada. Por último, en términos socioeconómicos, ostenta una renta per cápita relativamente modesta, cifrada en 11.718 €.

En tercer orden, se identifica a un 30,5% de la población del municipio, lo que equivale a 218.000 habitantes, quienes poseen un nivel de accesibilidad considerado como bueno. Este grupo, el segundo en tamaño poblacional, reside en diversas áreas de la ciudad, que van desde barrios periféricos hasta zonas tradicionales, nuevos desarrollos urbanísticos y una parte considerable de los barrios rurales. Los residentes de este espacio se caracterizan por una alta proporción de población joven, alcanzando el 28%, y una proporción relativamente baja de personas mayores, situada en un 15%. Además, destaca la baja presencia de residentes extranjeros en comparación con el conjunto del área (8,8%). En cuanto a la distribución de género y los ingresos medios individuales, la tasa de feminidad se sitúa ligeramente por debajo de la media, mientras que la renta per cápita presenta valores ligeramente superiores en comparación con el área en su conjunto.

El cuarto grupo, correspondiente a áreas con un servicio regular, posee una dimensión considerablemente menor en comparación con los previamente mencionados, con una población de 17.275 habitantes. Este hecho se deriva de la eficacia del sistema de transporte público en el municipio. En términos generales, sus residentes habitan en los barrios rurales más distantes del núcleo central y en las áreas dispersas del término municipal. Su población destaca principalmente por tener una estructura demográfica notablemente más joven que la media.

Finalmente, es pertinente señalar que, en los estratos de accesibilidad más desfavorables, aquellos categorizados como deficientes, muy deficientes sólo residen un 0,2% de la población municipal. Estos espacios comparten características como tasas de feminidad considerablemente reducidas y niveles de ingresos notablemente inferiores a la

media. En el municipio quedan 25 habitantes que habitan en lugares sin servicio de transporte¹⁴.

Tabla 5.3: Características sociodemográficas de la población del área metropolitana de Zaragoza según accesibilidad al centro de la ciudad.

<i>Calidad de acceso</i>	<i>Población</i>	<i>Población sobre el total (%)</i>	<i>Mujeres sobre el total (%)</i>	<i>Población de 0 a 24 años (%)</i>	<i>Población de 25 a 64 años (%)</i>	<i>Población de 65 años y más (%)</i>	<i>Población extranjera (%)</i>	<i>Renta personal media (€)</i>
Bueno	22.445	19,2	50,1	28,1	57,6	14,2	8,2	12.339 €
Regular	13.401	11,5	49,1	34,0	60,3	5,7	10,4	13.197 €
Deficiente	36.802	31,5	48,9	28,4	58,4	13,2	10,5	12.501 €
Muy deficiente	44.096	37,8	48,8	23,9	55,8	20,4	11,5	11.960 €
Sin servicio	19	0,0	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Total	116.763	100,0	49,0	26,6	57,4	16,0	10,8%	12.292 €

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

Los habitantes de las localidades del entorno de Zaragoza suman en conjunto una población ligeramente superior a los 110.000 habitantes. En términos generales se observa que la población de la corona metropolitana está considerablemente menos envejecida que la de Zaragoza capital (16% de mayores de 65 años frente a 21%), relativamente más masculinizada (49% de mujeres frente a 51,9%), cuenta con una menor proporción de extranjeros (10,8% frente a 12%) y un nivel de renta muy similar (12.292 € frente a 12.515 €). Una vez puestas de manifiesto estas diferencias se presentan los datos sociodemográficos para cada una de las categorías de calidad de la accesibilidad mencionadas.

En este caso el mejor nivel de accesibilidad se corresponde con el de "bueno", de manera que las clasificaciones de "muy bueno" y "excelente" se reservan exclusivamente para el entorno urbano. Este grado de accesibilidad bueno se da únicamente en municipios de la primera corona metropolitana de Zaragoza. Con relación a las características demográficas de la población que reside en este entorno, se presenta una paridad entre hombres y mujeres (tasa de feminidad del 50,1%), si bien, este es el valor más elevado en todo el entorno metropolitano, lo que indica que la población de este espacio está

¹⁴ Se trata de la población del barrio rural de Torrecilla de Valmadrid que, aunque no recibe servicio de transporte público como tal, si existe un acuerdo para poder solicitar taxis cubriendo una parte del coste la administración local.

relativamente feminizada. Otra característica notable es la presencia de un contingente poblacional joven, hecho que se refleja, por un lado, en que más de un 28% de la población tiene menos de 25 años frente a un 14% de población mayor de 65 años, superando la ya relativamente rejuvenecida estructura demográfica del área metropolitana. En términos de nacionalidad se trata de un espacio con una elevada proporción de españoles, dado que el porcentaje de población extranjera es relativamente bajo, alcanzando un 8,2%. En cuanto a la renta per cápita se sitúa muy próxima a la media del área. Estos parámetros demográficos son muy similares a los descritos para la población urbana de esta misma categoría de accesibilidad. Esta similitud viene explicada, entre otras razones, porque en ambos espacios dominan las zonas residenciales de más reciente creación.

El siguiente grado de accesibilidad, calificado como regular, alberga poco más del 10% de la población del área metropolitana. En este espacio se destaca, una proporción significativamente mayor de población joven, alcanzando el 34,0%, y el nivel más bajo de envejecimiento en comparación con otros espacios estudiados, registrando un 5,2%. Además, presenta un porcentaje de población extranjera cercano al 10% y un nivel de renta per cápita de 13.197 €, el cual es superior al observado en las demás categorías del área metropolitana.

El tercer grupo, que abarca áreas con un servicio calificado como deficiente, afecta a 36.802 habitantes, lo que representa el 31,5% de la población. En términos de indicadores sociodemográficos este grupo muestra valores muy cercanos a la media de los municipios del área metropolitana, con la única excepción de una estructura demográfica ligeramente más joven (28,4% de personas de 0 a 24 años) en comparación con otras zonas.

En cuarto lugar, se encuentran los espacios con el nivel de accesibilidad más deficiente, clasificado como muy deficiente, los cuales albergan el contingente poblacional más grande, representando un 37,8% del total del área metropolitana, equivalente a 44.096 habitantes. Estos espacios presentan una estructura demográfica con un elevado índice de envejecimiento, que alcanza una proporción de 20,4% y una renta per cápita inferior a la media, situada en 11.960 €.

Finalmente, la población sin servicio de transporte público vuelve a ser anecdótica (19 hab.) este grupo vive en el diseminado o en pequeñas aldeas de algunos de los municipios del área.

En síntesis, en el municipio de Zaragoza se observa que los espacios con una accesibilidad menos favorable (calificada como buena) están habitados predominantemente por una población relativamente joven, de nacionalidad española y con un nivel de ingresos per cápita ligeramente superior al promedio. Por otro lado, la población más vulnerable, ya sea por su avanzada edad o por su menor nivel de ingresos, se concentra principalmente en áreas con una clasificación de accesibilidad considerada "muy buena". Por el contrario, en el entorno metropolitano la situación es inversa y la población más vulnerable tiende a ocupar los espacios con peores niveles de accesibilidad, siendo estos clasificados como "deficientes" o "muy deficientes". Esto da lugar a que, al concentrar la ciudad de Zaragoza a la mayoría de la población vulnerable la mayor parte de la misma goce de unos niveles de accesibilidad muy buenos pero que al mismo tiempo los espacios de menor accesibilidad, que pertenecen al área metropolitana, posean una proporción más elevada de estos habitantes.

5.3 Accesibilidad en transporte público a los servicios sanitarios y la educación superior

Esta sección responde al cuarto objetivo de la investigación, que se centra en determinar el grado de accesibilidad en transporte público de los segmentos de la población más vulnerables en relación con los servicios de educación y sanidad. La hipótesis planteada sugiere que la mayoría de la población vulnerable posee un acceso adecuado a los servicios de sanidad y educación a través del transporte público. Esta suposición se basa, por un lado, en la elevada concentración de población en la ciudad de Zaragoza, así como en la presencia de un sistema sanitario y educativo bien establecido y distribuido de forma bastante homogénea en el territorio.

En particular, se llevará a cabo un análisis sobre el acceso a los servicios de sanidad, incluyendo centros de salud y hospitales, así como el acceso a instituciones de educación superior, específicamente los campus universitarios San Francisco y Río Ebro pertenecientes a la Universidad de Zaragoza.

5.3.1 Accesibilidad a los centros de salud

El centro de salud desempeña un papel crucial como componente primario en el sistema de atención sanitaria, siendo su característica distintiva la provisión de servicios médicos esenciales. La importancia de los centros de salud radica en su rol como primer punto de contacto para la atención primaria, así como en su contribución significativa a la cobertura sanitaria universal. En este sentido, tratan de ofrecer atención médica fácilmente

accesible para la comunidad local a través de una red adecuadamente distribuida por el territorio. En este epígrafe vamos a analizar, por un lado, cómo de accesible es la red de centros de salud del área de estudio para la población no motorizada y, por otro, como son las características sociodemográficas de dicha población en función de la accesibilidad a estos centros.

Tabla 5.4: Accesibilidad en transporte público a los centros de salud.

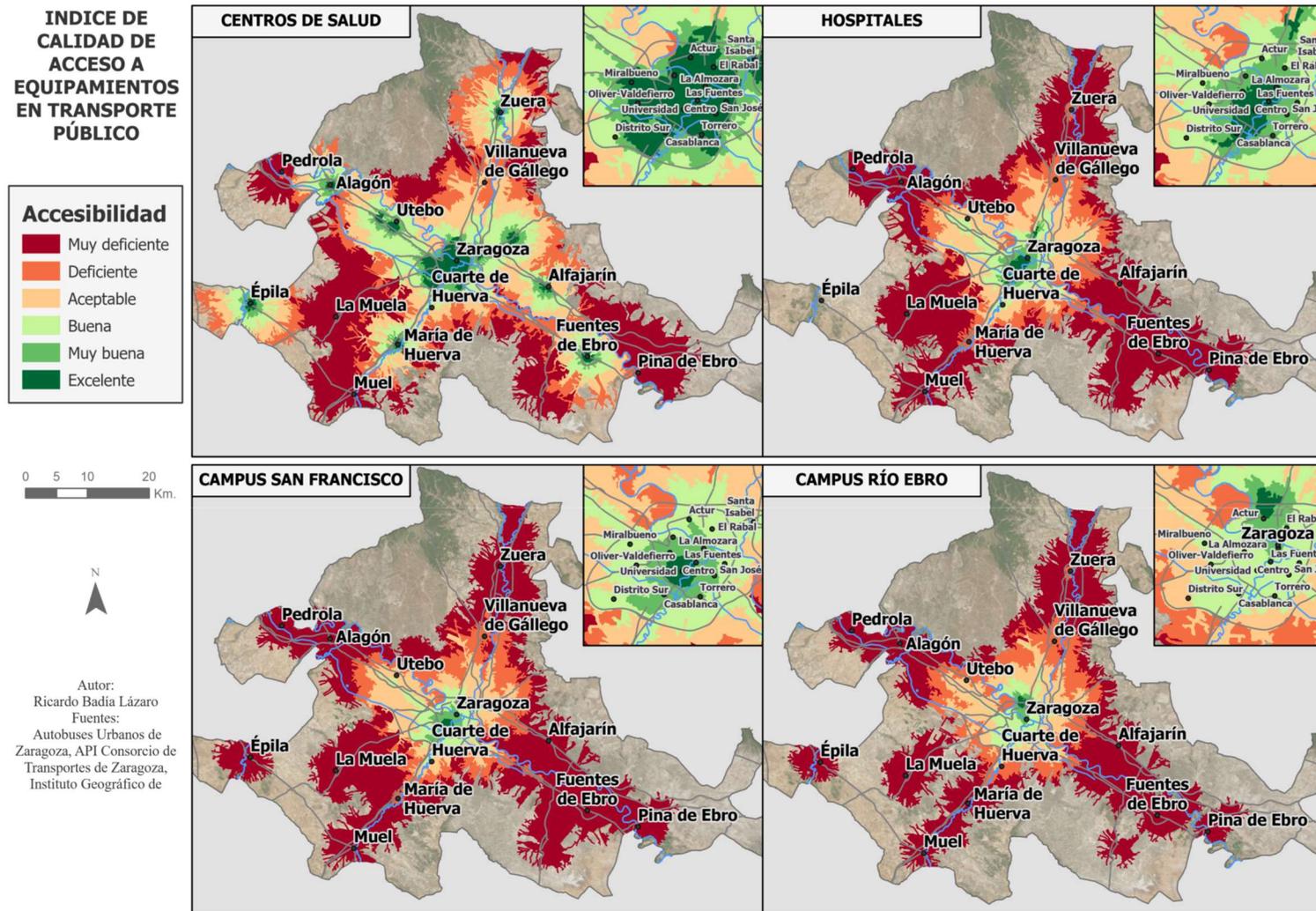
<i>Calidad de acceso</i>	<i>Población</i>	<i>Población sobre el total (%)</i>	<i>Mujeres sobre el total (%)</i>	<i>Población de 0 a 24 años (%)</i>	<i>Población de 25 a 64 años (%)</i>	<i>Población de 65 años y más (%)</i>	<i>Población extranjera (%)</i>	<i>Renta personal media (€)</i>
Excelente	730.376	87,6	51,6	23,8	55,8	20,4	15,2	12.384 €
Muy buena	15.939	1,9	50,0	29,4	57,8	12,8	6,0	14.404 €
Buena	44.293	5,3	49,4	26,0	57,5	16,5	10,2	12.470 €
Regular	22.646	2,7	46,3	22,9	59,2	17,9	7,6	14.340 €
Deficiente	10.272	1,2	46,8	25,1	69,7	5,2	5,1	11.853 €
Muy deficiente	9769	1,2	45,9	26,4	63,2	10,4	11,8	11.845 €
Sin servicio	44	0,0	44,0	12,0	52,0	36,0	0,0	9931 €
Total	798.680	100,0	51,5	23,8	55,9	20,3	14,8	12.484 €

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

La red de centros de salud presenta una buena cobertura territorial distribuyéndose a lo largo y ancho del área de estudio. Entre los municipios que cuentan con un nivel de servicio calificado de excelente se encuentran Zaragoza; Zuera y Villamayor de Gállego, en la zona norte; Alfajarín y Fuentes de Ebro en la zona este, en los corredores de Barcelona y Castellón respectivamente; María de Huerva en la zona este; Épila, en la zona suroeste; y Alagón, Casetas, Utebo y en el eje Oeste.

Un 87,6% de la población global del área de estudio posee una accesibilidad excelente a los centros de salud en transporte público, entendido este umbral como un viaje de menos de 15 minutos un 90% del tiempo del día.

Figura 5.10: Mapa de calidad de acceso a servicios sanitarios y de educación superior



Fuentes: AVANZA Zaragoza (2020^a); Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza (2020) y base de datos GTFS de esta investigación. Elaboración propia.

Esta cifra engloba a la totalidad de la población de los municipios mencionados en el párrafo anterior, ya que en la mayoría de los casos estos desplazamientos pueden efectuarse a pie. La excepción a esta situación se presenta en ciertos barrios rurales del municipio de Zaragoza, donde la disponibilidad de servicio de transporte público es limitada, lo que afecta la accesibilidad a los centros de salud en estas zonas.

En referencia a las áreas con un nivel de accesibilidad muy bueno, definido como aquel que garantiza el desplazamiento al centro de salud en menos de 30 minutos, se destacan varios barrios rurales situados en las proximidades de los centros de salud de Zaragoza, como Juslibol, San Gregorio, el sector sur de Montañana, Movera o Venta del Olivar, los cuales disfrutan de sólidas conexiones de transporte público con los barrios de la ciudad colindantes donde se ubican sus centros de salud de referencia.

A título ilustrativo, la presencia de una línea de transporte público entre Casetas y Zaragoza, con una frecuencia de 10 minutos amplía el área de accesibilidad buena a lo largo del corredor que conecta estos municipios, los cuales distan 17 kilómetros el uno del otro. Esta mejora beneficia a las áreas intermedias, como Venta del Olivar. En conjunto, estas localidades representan aproximadamente un 1,9% de la población del área y se caracterizan por tener una alta proporción de jóvenes (29,4%) frente a una baja proporción de personas mayores de 65 años (12,8%). Además, presentan una reducida ratio de residentes extranjeros (6%) y una renta personal media considerablemente superior a la del área circundante (14.404 €). Esta última característica se debe principalmente a la presencia de urbanizaciones y chalés, especialmente ubicados en los alrededores de Venta del Olivar.

Con un nivel de accesibilidad calificado como bueno, entendido como aquel en el cual el desplazamiento máximo requerido para llegar al centro de salud no excede 1 hora en transporte público, se incluyen, entre otras, las siguientes localidades: San Juan de Mozarrifar, el sector norte de Montañana, Pastriz, La Puebla de Alfindén, La Cartuja, Cuarte de Huerva, Cadrete, Garrapinillos y Monzalbarba. En la mayoría de estos casos el centro de salud más cercano está ubicado en una localidad vecina, con la cual cuentan con buenas conexiones de transporte público. Esto evidencia que el transporte público compensa la falta de un centro de salud en ese lugar al facilitar el acceso al que se encuentra en otro municipio de manera relativamente accesible.

En conjunto, estos municipios presentan una cierta entidad demográfica, especialmente Cuarte de Huerva. En este nivel de accesibilidad encontramos a un 5,3% de la población del área, que sumado a las dos categorías previamente mencionadas observamos que un 94,8% de la población cuenta con un acceso adecuado a los centros de salud mediante el transporte público, prescindiendo de la necesidad de conducir. Una vez más, esta población presenta una estructura demográfica relativamente joven, con un 26,0% de la población en el rango de edad de 0 a 24 años, si bien en este caso, la renta se sitúa en valores medios.

Con un grado de accesibilidad calificado como regular, caracterizado por tiempos totales de viaje que pueden extenderse hasta la hora y media, encontramos localidades como Villanueva de Gállego, Villafranca de Ebro y El Burgo de Ebro, Santa Fe, Torres de Berrellén o La Joyosa, entre otras. Estos espacios están conectados por una línea de transporte del Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza (CTAZ) con frecuencias irregulares en torno a la hora. La población de este espacio supone un 2,7% de la población total y se distingue por su masculinización, con una tasa de feminidad de 46,3%. Su estructura por edades es similar a la media, y la proporción de españoles supera la media regional (7,6% de población extranjera). Además, la renta personal media es considerablemente superior al promedio del entorno, ascendiendo a 14.340 €. Esta alta renta se atribuye a la presencia de urbanizaciones de alto poder adquisitivo en este espacio, como la Urbanización El Zorongo.

Finalmente, un 1,2% de la población del área se encuentra en ubicaciones de accesibilidad deficiente o muy deficiente a los centros de salud. Estos municipios incluyen San Mateo de Gállego, Mediana de Aragón, Mozota y Pinseque en el primer caso, y Pina de Ebro, Muel, La Muela y Pedrola en el segundo. La característica común de estos municipios es la carencia de un sistema de transporte público eficiente, ya que están atendidos por líneas con escasas frecuencias e intervalos irregulares.

Es importante destacar que, aunque todas las localidades tienen menos de 5000 habitantes, hay numerosos municipios con más de 3000 habitantes que carecen tanto de centro de salud como de un sistema de transporte adecuado.

En cuanto a las características demográficas de esta área, se observa una población masculinizada, con una tasa de feminidad en torno al 46% tanto para la población con acceso deficiente como para la población con acceso muy deficiente. La estructura por

edad muestra una alta proporción de personas adultas (69,7% y 63,2% respectivamente) y, por consiguiente, una baja ratio de mayores de 65 años. El porcentaje de población española es superior a la media, mientras que la renta personal media se sitúa significativamente por debajo de los valores promedio, rondando los 11.800 € en ambos casos.

En síntesis, la población del área presenta un acceso satisfactorio a los centros de salud, puesto que un 94,9% de residentes cuentan con de un nivel de accesibilidad positivo (categorías de bueno, muy bueno y excelente), entre los cuales el 87% posee un grado de acceso excelente. Respecto al 5,1% restante, caracterizado por un acceso regular, deficiente o muy deficiente, se advierte una diversidad en los niveles de renta de la población, a pesar de que los índices de envejecimiento son relativamente bajos.

5.3.2 Accesibilidad en transporte público a hospitales

Tras haber evaluado la accesibilidad en transporte público a los centros de salud, surge la necesidad de profundizar en el análisis de la accesibilidad a los hospitales. A diferencia de los centros de salud, los hospitales son menos frecuentes en el territorio y su importancia como nodos de atención médica primaria y especializada es crucial para garantizar la salud y el bienestar de la población. En este contexto, examinar la accesibilidad a los hospitales se convierte en un aspecto fundamental para comprender y mejorar el acceso a los servicios de salud en nuestras comunidades.

El Figura 5.10 muestra en la sección superior derecha el mapa de la distribución espacial de la accesibilidad a los hospitales en el área de estudio. Se observa que las áreas con un nivel de accesibilidad calificado de excelente se limitan únicamente al municipio de Zaragoza donde se ubican los cuatro hospitales públicos del área: Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa, Hospital Miguel Servet, Hospital Royo Villanova y Hospital Provincial.

El área con un grado de accesibilidad excelente presenta una división en dos sectores distintos. Por un lado, una amplia región que ocupa la zona central y sur, delineada por la influencia de los hospitales Lozano Blesa y Miguel Servet y Provincial. Por otro lado, contrasta con una porción mucho más reducida asociada al Hospital Royo Villanova, situado en San Gregorio. Cabe destacar que la limitada extensión en el sector norte se atribuye a la ubicación del Hospital Royo Villanova en el barrio rural de San Gregorio.

Tabla 5.5: Accesibilidad en transporte público a los hospitales.

<i>Calidad de acceso</i>	<i>Población</i>	<i>Población sobre el total (%)</i>	<i>Mujeres sobre el total (%)</i>	<i>Población de 0 a 24 años (%)</i>	<i>Población de 25 a 64 años (%)</i>	<i>Población de 65 años y más (%)</i>	<i>Población extranjera (%)</i>	<i>Renta personal media (€)</i>
Excelente	223.010	26,8	53,0	21,1	54,5	24,4	19,4	13.913 €
Muy buena	347.563	41,7	51,8	23,2	55,7	21,1	15,6	11.791 €
Buena	167.973	20,2	50,3	27,7	57,8	14,5	8,7	12.154 €
Regular	13.770	1,7	48,8	24,8	56,1	19,1	11,4	12.775 €
Deficiente	36.329	4,4	42,8	24,5	61,4	14,0	12,1	11.281 €
Muy deficiente	40.536	4,8	41,0	25,3	66,5	8,2	7,6	11.760 €
Sin servicio	44	0,0	44,0	12,0	52,0	36,0	0,0	9931 €
Total	798.640	100,0	51,5	23,8	55,9	20,3	14,8	12.484 €

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

En su conjunto, esta categoría comprende aproximadamente el 26,8% de la población total. En cuanto a sus características demográficas, se destaca por tener la proporción más alta de mujeres entre todas las categorías (53,0%), una población muy envejecida (24,4% de la población mayor de 65 años), una elevada proporción de población extranjera (19,4%) y una renta personal media también alta, alcanzando los 13.913 €.

La extensión de la zona con un grado de accesibilidad muy buena es limitada, aunque abarca prácticamente los barrios tradicionales de Zaragoza que no fueron cubiertos por la categoría anterior. Este último factor la convierte en la zona con el mayor volumen poblacional. Los residentes de este espacio presentan también una mayor proporción de mujeres, mayores de 65 años y extranjeros, pero en todos los casos con valores inferiores a los anteriores. La mayor diferencia reside en la renta, que en este caso queda sensiblemente por debajo de la media del área, con 11.791 €.

El área con un grado de accesibilidad considerado bueno rodea a la zona anterior y se extiende además a lo largo de los corredores Norte, Este y Oeste. En los dos primeros casos, esto se debe a la proximidad a los hospitales ubicados en el norte y sur de la ciudad, respectivamente. En el caso del corredor oeste, se debe a una red de transporte público bien desarrollada entre Zaragoza y Casetas. Las localidades de este espacio se alinean en gran medida con los barrios rurales y municipios adyacentes a Zaragoza que mostraban un nivel de acceso bueno al analizar su acceso a Plaza de España. (epígrafe 5.1.6) e incluyen a algunas áreas nuevas como el barrio de Santa Isabel. En conjunto, estas áreas representan un 20,2% de la población. Se caracterizan por tener una población relativamente joven (27,7%) y una baja proporción de población extranjera (8,7%). Su renta personal media se

sitúa ligeramente por debajo de la media, alcanzando los 12.154 €. Los sistemas de transporte público suelen ser en ciertos casos el único medio disponible para que algunos grupos de población accedan a servicios que cubren sus necesidades básicas y esenciales. Sin embargo, los diseños de estos sistemas no garantizan una accesibilidad adecuada y funcional, en especial para la población con algún tipo de discapacidad, disminuyendo la calidad de vida de estos usuarios y convirtiéndose en un factor de exclusión social.

En este contexto, empleando herramientas de análisis espacial se evaluó la equidad espacial de las condiciones de acceso al sistema de transporte público para la población con enfermedad neurodegenerativa en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. Se estimó la equidad espacial a través de un valor único empleando la curva de Lorenz y el coeficiente de Gini. Esta evaluación facilita el seguimiento a la provisión de servicios generando insumos para establecer estrategias de planificación y operación del sistema de transporte. Se encontró un considerable grado de desigualdad para la provisión de transporte público, debido a múltiples factores, como la disponibilidad de caminata de los pacientes y la proximidad entre la residencia del paciente a una parada y/o un corredor vial del sistema de transporte (Wilches Astudillo et al., 2021).

La siguiente categoría es la de grado de accesibilidad regular, la cual se encuentra en pocas localidades y aglutina la menor proporción de población (1,7%). Únicamente destacan algunos sectores de Cuarte y Cadrete. En cuanto a las características sociodemográficas de la población del área, no se observan grandes desviaciones respecto a los valores medios.

Con respecto a la categoría de un grado de accesibilidad deficiente, esta se extiende principalmente por las zonas de distancia intermedia de los corredores Norte, Sur y Oeste, así como por los municipios adyacentes a Zaragoza del corredor Este. Algunos municipios importantes incluyen Zuera, Villanueva de Gállego, El Burgo de Ebro o María de Huerva. En esta situación de accesibilidad se encuentra un 4,4% de la población total, caracterizándose por una notable masculinización, una significativa proporción de población en el rango de edad de 25 a 64 años (61,4%) y una renta personal media inferior a la media, específicamente de 11.281 €.

La categoría de accesibilidad muy deficiente abarca el resto del área metropolitana, principalmente de la segunda corona, acercándose más a Zaragoza en la zona este y

cubriendo la totalidad del corredor de la carretera de Madrid. Esto evidencia que en estos dos corredores el transporte público ofrece un menor nivel de servicio.

La población de este espacio representa un 5,3% de la población analizada. Está altamente masculinizada. La estructura por edad muestra una alta proporción de personas adultas (66,5%), mientras que la cantidad de población extranjera es relativamente baja (7,6%) y la renta personal media se sitúa por debajo del promedio, alcanzando los 11.760 €.

En conclusión, el porcentaje de la población del área con un nivel de accesibilidad en transporte público calificado como bueno, muy bueno o excelente a los hospitales asciende al 88,7% del total. Este grupo cuenta con la posibilidad de desplazarse en un tiempo máximo de 1 hora en todo momento. En comparación, este valor es inferior al 94,9% observado para los centros de salud debido a la menor distribución espacial de los hospitales, dada su mayor especialización.

5.3.3 Accesibilidad en transporte público a la educación superior

Tras haber investigado el grado de accesibilidad mediante el uso del transporte público al sistema de salud, se procede a realizar este mismo análisis para otro servicio esencial, la educación. En concreto, el enfoque de este análisis se dirige hacia la accesibilidad a la educación superior dado que, para acceder a la educación primaria y secundaria, se organizan rutas específicas de transporte escolar, lo que minimiza la dependencia del transporte público convencional por parte de los alumnos y/o sus familias. Por el contrario, los estudiantes de educación superior sí dependen del transporte público para desplazarse. En este sentido, se examina la calidad de acceso en transporte público a los dos Campus Universitarios de la ciudad de Zaragoza; El Campus de San Francisco y el Campus Río Ebro por ser estos los nodos con mayor concentración de estudiantes universitarios con más de 11.000 y 4.000 alumnos respectivamente (Universidad de Zaragoza, 2023). Este análisis se realiza de manera individual para cada uno de los dos campus puesto que los estudiantes eligen uno u otro en función de sus necesidades académicas, y no optando por el más cercano geográficamente.

Accesibilidad al Campus de San Francisco

Comenzando por el Campus San Francisco el mapa de la Figura 5.10 en su sección inferior izquierda muestra como la mayor accesibilidad se da en la zona centro-sur de Zaragoza y los niveles van disminuyendo en forma de aureolas concéntricas hacia la

periferia. En un patrón muy parecido al visto para los hospitales ya que dos de ellos se ubican muy próximos al campus.

Tabla 5.6: Accesibilidad en transporte público al Campus de San Francisco de la Universidad de Zaragoza.

<i>Calidad de acceso</i>	<i>Población</i>	<i>Población sobre el total (%)</i>	<i>Mujeres sobre el total (%)</i>	<i>Población de 0 a 24 años (%)</i>	<i>Población de 25 a 64 años (%)</i>	<i>Población de 65 años y más (%)</i>	<i>Población extranjera (%)</i>	<i>Renta personal media (€)</i>
Excelente	90.287	10,8	53,9	20,6	53,4	26,0	18,7	14.711 €
Muy buena	353.034	42,4	52,3	21,6	55,4	23,0	18,5	12.444 €
Buena	272.403	32,7	50,7	27,2	57,2	15,6	10,1	11.939 €
Regular	34.214	4,1	49,3	25,2	55,9	18,8	12,2	12.051 €
Deficiente	33.348	4,0	44,1	23,0	61,7	15,4	9,0	11.547 €
Muy deficiente	49.991	6,0	41,6	24,7	65,9	9,4	8,9	11.582 €
Sin servicio	44	0,0	44,0	12,0	52,0	36,0	0,0	9931 €
Total	798.640	100,0	51,5	23,8	55,9	20,3	14,8	12.484 €

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

La zona delimitada por el análisis bajo la categoría de excelente alberga los barrios de Universidad, Romareda, Ciudad Jardín, y algunos sectores de Delicias quedando fuera el centro de la ciudad. La cantidad de población con este nivel de accesibilidad es de un 10,8% (Tabla 5.6), valor inferior al de los hospitales (26,8%) y los centros de salud (87,6%) ya que en este caso estamos estudiando una única ubicación. En términos demográficos, se destaca una alta proporción de mujeres (53,9%), una estructura poblacional envejecida, con un 26% de la población mayor de 65 años, así como, una tasa elevada de población extranjera (18,7%). La renta personal media asciende a 14.711 €, superando ampliamente el promedio. Esta diversidad demográfica se atribuye, por un lado, a la presencia de población de la tercera edad en barrios como Universidad con un alto poder adquisitivo, y por otro, a la presencia de población inmigrante en los barrios tradicionales.

La zona con un grado de accesibilidad muy bueno abarca el centro de la ciudad, el casco histórico y la mayoría de los barrios tradicionales de la margen derecha del Ebro. Sin embargo, no incluye los barrios tradicionales de la margen izquierda del río, al norte de la ciudad, a excepción del ACTUR, gracias a que este tiene acceso a través de la línea 1 del tranvía de Zaragoza de mayor rapidez. Desde el punto de vista demográfico, destaca por albergar un contingente significativo, representando un 42,4% de la población del área. En términos de características demográficas, se observa una proporción elevada tanto de

mujeres (52,3%) como de población inmigrante (18,5%), situándose el resto de indicadores próximos al promedio.

Bajo un grado de accesibilidad calificado como bueno se encuentran la mayoría de los barrios del norte de la ciudad, algunos barrios ubicados en el extremo este de la ciudad como Las Fuentes o La Paz, los cuales se hallan más distantes del Campus San Francisco, así como el arco suroeste, desde Miralbueno hasta Arcosur. Esta categoría nuevamente excede los límites de la ciudad e incluye los barrios rurales más cercanos, el municipio de Cuarte de Huerva y, una vez más, el corredor entre Zaragoza y Casetas. Este espacio alberga un considerable volumen poblacional, representando un 32,7% de la población del área, principalmente debido a la presencia de algunos barrios tradicionales como los de la margen izquierda, extremo este y arco suroeste. La población de esta zona muestra una proporción elevada de personas jóvenes (27,2%), un rasgo característico de los barrios periféricos de Zaragoza y los municipios de la primera corona. La población extranjera es nuevamente relativamente escasa (10,8%), y en este caso, la renta per cápita se sitúa por debajo de la media debido a la mayor presencia de barrios tradicionales en comparación con los periféricos respecto a esta misma categoría en otros análisis.

En lo que respecta a la categoría de accesibilidad identificada como regular, esta se limita principalmente, por un lado, a algunos municipios de la primera corona metropolitana como Villamayor de Gállego, y por otro, a los barrios rurales del norte que no fueron incluidos en la categoría anterior, debido a la ubicación más septentrional del Campus San Francisco respecto al centro urbano. La población de este espacio es considerablemente menor que en las categorías anteriores, representando un 4,1% del total. La estructura por edad es ligeramente más joven que la media, con un 25,2% de población joven frente a un 18,8% de población de la tercera edad, y tanto la población extranjera como la renta se sitúan ligeramente por debajo de los valores medios.

El nivel de accesibilidad designado como deficiente exhibe una distribución muy similar a la descrita en el análisis de los hospitales, ocupando las zonas de distancias intermedias en la mayoría de los corredores, aunque en este caso se desarrolla más hacia el corredor sur y menos en el corredor norte, nuevamente debido a la ubicación del Campus en el centro-sur de Zaragoza.

En lo que respecta a la población de este espacio, representa un 4% del total y exhibe la estructura demográfica descrita en análisis previos para las zonas rurales de la corona

metropolitana, caracterizada por una población relativamente masculinizada, una proporción de personas adultas elevada por encima de la media, una presencia significativa de extranjeros y una renta per cápita inferior a la media. En cuanto a la población de este espacio, supone un 4% del total y presenta la estructura demográfica ya descrita para las zonas más rurales de la corona metropolitana con una elevada masculinidad, una proporción de personas adultas superior a la media, así como, una proporción de extranjeros y una renta per cápita por debajo de los valores promedios.

En las áreas identificadas con una accesibilidad muy deficiente, observamos nuevamente la presencia de numerosos municipios, todos ellos pertenecientes a la segunda corona metropolitana, a excepción del municipio de La Muela, como ya se observó en el análisis de la accesibilidad a los hospitales. En su conjunto, la población con este nivel de accesibilidad representa un 6% del total de la población del área. Las características sociodemográficas se asemejan a las descritas anteriormente, aunque con una mayor prominencia en cuanto al número de extranjeros y una renta per cápita inferior.

Como conclusión un 85,9% de la población del área puede acceder al campus de San Francisco con un grado de accesibilidad calificado de bueno, muy bueno o excelente, lo que implica que necesitan invertir 1 hora o menos en este desplazamiento sea cual sea el momento dentro de las horas de servicio. Por lo tanto, un sector muy amplio de la población tiene un valor muy similar al visto para los hospitales, a pesar de tratarse de una única ubicación frente a cuatro.

Accesibilidad al Campus Río Ebro

Con relación al grado de acceso en transporte público en el Campus Río Ebro, se observa que el área con el mejor grado de accesibilidad se limita a las zonas cercanas al propio Campus, ubicado al norte de la ciudad de Zaragoza. Específicamente, esta área abarca solo algunos sectores de los barrios del Actur, Parque Goya, y el barrio rural de Juslibol, dado que el entorno del Campus no está urbanizado. En este espacio habita tan solo un 2,0% de la población del área cuyos indicadores demográficos se aproximan a los valores medios excepto para la población extranjera, que presenta una relación del 5,5% muy inferior a la del conjunto.

Tabla 5.7: Accesibilidad en transporte público al Campus Río Ebro de la Universidad de Zaragoza.

<i>Calidad de acceso</i>	<i>Población</i>	<i>Población sobre el total (%)</i>	<i>Mujeres sobre el total (%)</i>	<i>Población de 0 a 24 años (%)</i>	<i>Población de 25 a 64 años (%)</i>	<i>Población de 65 años y más (%)</i>	<i>Población extranjera (%)</i>	<i>Renta personal media (€)</i>
Excelente	16.846	2,0	51,3	24,6	57,1	18,3	5,5	12.467 €
Muy buena	117.744	14,1	51,5	24,3	57,1	18,6	13,2	12.287 €
Buena	544.988	65,4	52,1	22,9	55,2	21,9	16,5	12.574 €
Regular	67.019	8,0	49,2	26,4	59,0	14,6	11,6	12.465 €
Deficiente	27.405	3,3	49,1	23,5	53,5	23,0	8,4	11.800 €
Muy deficiente	58.539	7,0	47,7	23,0	61,6	15,4	18,1	10.893 €
Sin servicio	798	0,1	37,4	26,1	69,4	4,5	4,4	11.758 €
Total	798.640	100,0	51,5	23,8	55,9	20,3	14,8	12.484 €

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

Alrededor de la categoría anterior, se extiende el espacio calificado como de muy buena accesibilidad. Este espacio exhibe una morfología que se asemeja a una almendra, cuya arista más alargada se extiende hacia el sur, siguiendo el trazado de la Línea 1 del tranvía. Comprende el resto de los sectores de los barrios anteriormente nombrados, la zona del Picarral y parte de El Arrabal en la margen izquierda, y gran parte del Casco Histórico y el sector cercano a Plaza de España en la margen derecha. La población en esta área supone un 14,0% del total y se caracteriza por estar relativamente feminizada y rejuvenecida.

El área caracterizada por un grado de accesibilidad considerado como bueno engloba los barrios urbanos restantes de la ciudad de Zaragoza, junto con el barrio rural de San Juan de Mozarrifar al norte de la ciudad, debido a su cercanía con el Campus Río Ebro. Al abarcar la mayoría de los barrios urbanos, la población de esta región representa aproximadamente dos tercios del total (65,4%) y se distingue principalmente por tener una proporción elevada de mujeres (52,1%).

El área con un nivel de acceso regular abarca la cercanía inmediata de la ciudad de Zaragoza, ocupando la mayor parte de los barrios rurales y los municipios de la primera corona metropolitana que cuentan con un mejor servicio de transporte, como Villamayor de Gállego, Cuarte de Huerva y Utebo. Esta área comprende al 8% de la población y se caracteriza por tener una estructura demográfica rejuvenecida, donde solo un 14,6% de la población supera los 65 años, y una proporción de población extranjera inferior a la media, que alcanza el 11,6%.

La zona con una accesibilidad catalogada como deficiente, se ubica exclusivamente en el entorno metropolitano de Zaragoza, principalmente a lo largo de los ejes Norte y Oeste. La población que habita en este espacio representa en conjunto un 3,3% del total. Se caracteriza por estar relativamente masculinizada, manifestar una proporción de población extranjera relativamente baja (8,4%), así como, un nivel de ingresos inferior a la media, alrededor de 11.800 euros.

La región catalogada como muy deficiente muestra una distribución similar a la observada en los dos análisis previos, abarcando un número considerable de municipios en la segunda corona metropolitana. Sin embargo, en este caso, su extensión es ligeramente mayor, especialmente hacia la zona sur, lo que resulta en que la población de esta área represente hasta un 7,0% del total. En cuanto a las características demográficas, destaca nuevamente la marcada predominancia masculina y la proporción significativa de personas en edad laboral que distingue a los espacios más rurales del área de estudio. No obstante, en este caso particular, se observa un porcentaje notable de población extranjera (18,1%) y un ingreso per cápita claramente inferior al promedio, situado en 10.893 euros.

En resumen, el Campus Río Ebro muestra una accesibilidad inferior en comparación con el Campus de San Francisco y los demás equipamientos analizados. Aunque la población con un nivel de accesibilidad bueno o superior representa el 81,5%, cifra similar al 85,9% del Campus San Francisco, la situación difiere significativamente al focalizar el análisis únicamente en las zonas con acceso muy bueno o excelente. Estas zonas abarcan en conjunto un 16,1% de la población total, hecho que contrasta fuertemente con la cifra obtenida para el Campus de San Francisco, un 53,2%. En definitiva, este centro es el menos accesible, aunque su accesibilidad en transporte público sigue siendo adecuada para cuatro quintas partes de la población.

5.4 Análisis comparativo de las diferencias de accesibilidad entre el transporte privado y el transporte público

En los apartados anteriores del presente capítulo se ha realizado un análisis detallado de la accesibilidad en el transporte público, abordando tanto su distribución geográfica como su asociación con las características sociodemográficas de la población. Para completar este análisis, es esencial comparar esta accesibilidad con la ofrecida por el vehículo particular. Para cumplir con este propósito, se ha estructurado este apartado en tres secciones distintas. La primera presenta la accesibilidad en vehículo privado a través

de los tiempos medios de viaje. La segunda expone lo propio para el transporte colectivo. Finalmente, la tercera sección se encarga de comparar ambas modalidades de transporte.

Estos resultados se relacionan con las características sociodemográficas de la población, con la intención de responder al siguiente objetivo: identificar las diferencias en el nivel de accesibilidad entre la población que posee un automóvil (colectivo motorizado), y aquella que no lo hace (colectivo no motorizado). En este sentido, la hipótesis planteada es que la accesibilidad del colectivo no motorizado es inferior a la del motorizado, y estas diferencias son más pronunciadas en el área metropolitana.

5.4.1 Tiempo de viaje en vehículo privado

A continuación, exploraremos la accesibilidad en vehículo privado desde Plaza de España, medida en tiempo de desplazamiento, para poder compararla posteriormente con el transporte público. El análisis realizado se lleva a cabo en un escenario con un tráfico fluido utilizando el método descrito en el apartado 4.2.3.

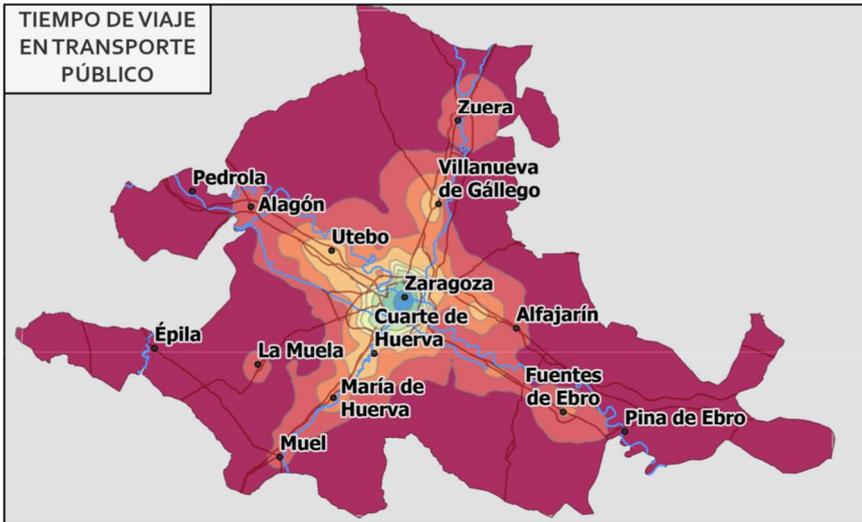
La distribución geográfica de la accesibilidad en vehículo privado muestra un diseño concéntrico, similar al patrón identificado en los análisis previos realizados para la accesibilidad en el transporte público. El área accesible desde plaza de España en menos de 10 minutos en coche forma un círculo alrededor de este punto, incluyendo zonas como el distrito centro, el casco histórico y barrios tradicionales como El Arrabal, Las Fuentes, San José o Universidad. Esta área alberga a más de 200.000 habitantes, lo que representa un 26,4% de la población total del área estudiada. Este conjunto de áreas combina características propias del centro, con una renta per cápita superior a la media (13.138 €), con otras comunes a los barrios tradicionales como un elevado porcentaje de extranjeros (17,8%). Asimismo, presenta una elevada proporción de mujeres (53%) y una estructura por edad envejecida, características propias de ambos espacios.

El área restante de la ciudad de Zaragoza, a excepción de algunos barrios periféricos, es accesible desde Plaza de España en un tiempo de viaje en vehículo particular que oscila entre los 10 y los 20 minutos. La gran cantidad de barrios urbanos englobados en este espacio resulta en el hecho de que en ellos reside más de la mitad de la población del área, en concreto, un 52,8%. Esta alta concentración poblacional ha dado lugar a valores sociodemográficos que se aproximan significativamente a la media en todos los parámetros estudiados.

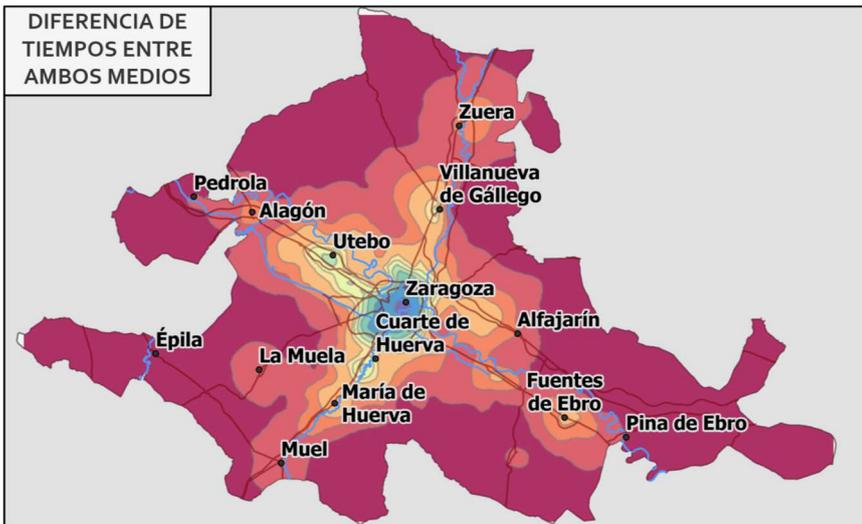
Figura 5.11: Comparación de las diferencias de accesibilidad entre medios.

COMPARACION DE LAS DIFERENCIAS DE ACCESIBILIDAD ENTRE EL TRANSPORTE PRIVADO Y PÚBLICO

- Tiempo en minutos**
- Menos de 10 min.
 - De 10 a 20 min.
 - De 20 a 30 min.
 - De 30 a 40 min.
 - De 40 a 50 min.
 - De 50 a 1 hora
 - De 1 hora a hora y media
 - De hora y media a 2 horas
 - De 2 a 3 horas
 - Más de 3 horas



Autor:
Ricardo Badía Lázaro
Fuentes:
Autobuses Urbanos de Zaragoza, API Consorcio de Transportes de Zaragoza, Instituto Geográfico de Aragón y Aragón Open Data.



0 5 10 20 Kilómetros



Fuentes: AVANZA Zaragoza (2020^a); Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza (2020) y base de datos GTFS de esta investigación. Elaboración propia.

Tabla 5.8: Tiempos de viaje en vehículo particular.

<i>Tiempo</i>	<i>Población</i>	<i>Población sobre el total (%)</i>	<i>Mujeres sobre el total (%)</i>	<i>Población de 0 a 24 años (%)</i>	<i>Población de 25 a 64 años (%)</i>	<i>Población de 65 años y más (%)</i>	<i>Población extranjera (%)</i>	<i>Renta personal media (€)</i>
De 0 a 10 min.	220.206	26,4	53,1	20,8	54,5	24,7	17,8	13.138 €
De 10 a 20 min.	439.759	52,8	51,4	23,7	55,5	20,9	13,6	12.297 €
De 20 a 30 min.	130.898	15,7	49,4	29,3	59,9	10,9	9,4	12.931 €
De 30 a 40 min.	42.006	5,0	43,6	24,9	60,5	14,6	10,3	11.434 €
De 40 a 50 min.	470	0,1	50,1	17,8	54,6	27,7	6,0	13.030 €
Total	798.640	100,0	51,5	23,8	55,9	20,3	14,8	12.484 €

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

Los barrios periféricos del sur de Zaragoza, específicamente Valdefierro, Arcosur, Montecanal, y ciertas áreas de Valdespartera, son los únicos que requieren más de 20 minutos de desplazamiento hasta el centro de Zaragoza. En las zonas circundantes a Zaragoza, quedan entre los 20 y los 30 minutos los municipios de la primera corona metropolitana, así como, la mayoría de los barrios rurales. Más específicamente, al norte se alcanzan Villanueva de Gállego y Peñaflor; al este, Nuez de Ebro y El Burgo de Ebro; al sur, Botorrita; al suroeste, La Muela; y al oeste, Casetas, incluyendo una zona desligada del resto que incorpora al municipio de Alagón gracias a la salida de la autopista AP-68. La población de este espacio representa un 15,7% del total. Desde una perspectiva sociodemográfica, se distingue por tener una estructura de edad relativamente joven, vinculada a una renta per cápita superior a la media y a un porcentaje de residentes extranjeros relativamente bajo.

Por encima del umbral de 30 minutos de desplazamiento, encontramos prácticamente la totalidad de los municipios de la segunda corona metropolitana y los barrios rurales más distantes, tanto de la ciudad como de los ejes de transporte, como es el caso de Alfocea, Torrecilla de Valmadrid o Villarrapa. En conjunto, representan alrededor del 5% de la población total del área. En cuanto a sus características demográficas, conforme a lo observado en análisis previos, la población de la segunda corona metropolitana tiende a estar muy masculinizada, con una alta proporción de residentes en el rango de edad entre 25 y 64 años, así como niveles de población extranjera y renta per cápita por debajo de la media.

Por encima del tiempo de viaje de los 40 minutos en vehículo privado, solamente encontramos algo menos de 500 habitantes pertenecientes al municipio de Osera de Ebro y

al núcleo de Fábrica Azucarera en Épila. Respecto a los espacios que requieren más de 50 minutos de desplazamiento en coche corresponden a áreas deshabitadas en las franjas periféricas del área de estudio.

En resumen, se observa que la accesibilidad en automóvil tanto en la ciudad de Zaragoza como en su área metropolitana es notablemente alta, con tiempos de viaje significativamente inferiores en comparación con los analizados para el transporte público en términos de accesibilidad.

5.4.2 Tiempo de viaje en transporte público

A continuación, se presenta el tiempo medio de desplazamiento en transporte público. Este análisis se vincula estrechamente con las investigaciones realizadas en los puntos 5.1 y 5.2 donde se ha explorado la distribución de la accesibilidad en el transporte colectivo y su relación con las características sociodemográficas de la población. En esos puntos, se han presentado no solo los tiempos totales de viaje, como se hace en esta ocasión, sino también los porcentajes de tiempo durante los cuales un área es accesible en un intervalo específico.

El propósito en el presente epígrafe es exponer los tiempos totales de viaje en transporte público, estableciendo así las bases para efectuar una comparación entre estos y los del vehículo particular. El tiempo de viaje en transporte público se compone del tiempo empleado desde el punto de origen hasta la parada más cercana, sumado al tiempo de espera hasta la llegada del próximo servicio, así como al tiempo de traslado y al periodo desde la parada de destino hasta el destino final. La presencia de servicios de transporte con intervalos de paso escasos e irregulares resulta en incrementos significativos en el tiempo de espera, lo que conlleva a una prolongación del tiempo total de viaje.

La Figura 5.11 en su sección intermedia presenta la distribución de los tiempos medios de viaje en transporte público, mientras que la Tabla 5.9 los vincula con las características sociodemográficas de la población. Estas últimas no serán discutidas en este punto debido a su tratamiento previo en los apartados 5.1 y 5.2. Además, serán abordadas nuevamente en el siguiente punto, donde se llevará a cabo una comparación entre los tiempos de desplazamiento en transporte público y privado.

El Casco Histórico, el Centro y los barrios tradicionales más cercanos a Plaza de España presentan tiempos de viaje en transporte público, incluyendo desplazamientos y esperas, entre los 10 y 20 minutos. Sin embargo, se trata de tiempos de viaje competitivos

también para el transporte público. En este contexto, residen algo más de 150.000 habitantes.

Tabla 5.9: Tiempos de viaje en transporte público

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de

<i>Tiempo</i>	<i>Población</i>	<i>Población sobre el total (%)</i>	<i>Mujeres sobre el total (%)</i>	<i>Población de 0 a 24 años (%)</i>	<i>Población de 25 a 64 años (%)</i>	<i>Población de 65 años y más (%)</i>	<i>Población extranjera (%)</i>	<i>Renta personal media (€)</i>
De 0 a 10 min.	27	0,0	51,9	7,4	81,5	11,1	29,6	14.406 €
De 10 a 20 min.	156.492	18,8	53,5	19,8	54,7	25,5	17,6	14.006 €
De 20 a 30 min.	336.156	40,3	52,0	22,0	55,1	22,9	18,4	11.804 €
De 30 a 40 min.	119.427	14,3	51,1	26,5	56,0	17,6	10,3	12.477 €
De 40 a 50 min.	48.958	5,9	50,3	32,2	59,5	8,3	6,2	13.086 €
De 50 a 1 h.	16.532	2,0	49,6	30,1	60,7	9,2	7,3	13.171 €
de 1 h. a 1 h. 30 min.	68.694	8,2	49,5	26,4	58,0	15,6	11,8	11.532 €
De 1h. 30 min. a 2h.	30.351	3,6	48,8	25,1	56,4	18,5	9,1	12.100 €
De 2h. a 3h.	36.891	4,4	48,8	26,2	54,3	19,5	20,1	14.696 €
Más de 3 h.	19.811	2,4	45,5	23,3	61,2	15,5	6,2	11.622 €
Total	798.640	100,0	51,5	23,8	55,9	20,3	14,8	12.484 €

esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

Entre los 20 y los 30 minutos de trayecto, también identificamos áreas predominadas por los barrios tradicionales, donde habitan algo más de 330.00 habitantes, representando un 40% del total. Se trata de espacios que siguen manteniendo tiempos de viaje competitivos en transporte público.

Entre los 30 y los 40 minutos de trayecto, nos encontramos con barrios urbanos periféricos que albergan una población ligeramente superior a los 100.000 habitantes

En los dos siguientes rangos, entre los 40 y los 60 minutos, encontramos los sectores más periféricos de la ciudad y los barrios rurales más cercanos a ella. En conjunto, representan aproximadamente 65.000 habitantes.

En el rango de tiempo de viaje comprendido entre una hora y hora y media, se sitúan la mayoría de los barrios rurales y muchos de los municipios de la primera corona metropolitana, como Villanueva de Gállego, La Puebla de Alfindén, Cuarte de Huerva y Utebo. La población en este espacio asciende a más de 68.000 habitantes.

En un lapso que oscila entre una hora y media y dos horas de viaje, emergen los primeros municipios pertenecientes a la segunda corona metropolitana, tales como Cadrete o La Joyosa. Estos territorios se caracterizan por tiempos de espera prolongados entre los distintos servicios de transporte, lo que conlleva una significativa extensión de los tiempos

de desplazamiento promedio. En estas zonas la población es escasa, en concreto, de poco más de 30.000 habitantes.

Una vez superadas las dos horas de tiempo de viaje en promedio, se encuentran muchas de las localidades de la segunda corona, las cuales generalmente se sitúan aún dentro de los ejes principales de transporte. Algunos ejemplos son Zuera, Alfajarín, Muel, Épila o Alagón. Este territorio posee un volumen poblacional similar a la anterior.

Si el tiempo de viaje supera las tres horas, nos encontramos con áreas que cuentan con una oferta de servicios diarios muy limitada, como los municipios situados entre Villafranca de Ebro y Pina de Ebro en la carretera de Barcelona, así como Épila, Figueruelas o Pedrola, principalmente. El número de personas que habitan en este espacio supera las 19.000.

En resumen, observamos que los tiempos de viaje en transporte público son bastante eficientes en la mayoría de los barrios urbanos de Zaragoza. Se vuelven considerablemente más largos en el área metropolitana, llegando a superar las dos, e incluso las tres horas, en la mayoría de los municipios que conforman la segunda corona metropolitana. En consecuencia, el transporte público en el área metropolitana de Zaragoza tiene mucho margen de mejora en lo que a horarios y frecuencias se refiere.

5.4.3 Comparación de las diferencias en los tiempos de viaje entre el vehículo privado y el transporte público

Finalmente procederemos a examinar las diferencias en el tiempo de viaje en los desplazamientos entre el transporte público y el vehículo particular, a través de la confrontación de los hallazgos obtenidos en los dos análisis previos.

El mapa representado en la parte inferior de la Figura 5.11 ilustra cómo el área con la menor diferencia se ubica en el centro de Zaragoza, espacio a partir del cual aumentan progresivamente con la distancia. Inicialmente, alrededor de la ciudad de Zaragoza se observa un patrón concéntrico donde cada categoría rodea a la anterior, seguido de una expansión a lo largo de los principales ejes de transporte ya en el entorno metropolitano. En consecuencia, los límites del área de estudio exhiben las mayores disparidades, superando las tres horas de diferencia en el tiempo de viaje entre el transporte público y el vehículo particular. El elevado valor se atribuye a los prolongados tiempos de espera debido a la escasa frecuencia de los servicios de transporte público en estas ubicaciones, y no necesariamente a tiempos dilatados de trayecto una vez que el usuario ha iniciado su viaje a bordo del autobús o tren.

Tabla 5.10: Diferencia de tiempos de viaje entre el vehículo particular y el transporte público

<i>Tiempo</i>	<i>Población</i>	<i>Población sobre el total (%)</i>	<i>Mujeres sobre el total (%)</i>	<i>Población de 0 a 24 años (%)</i>	<i>Población de 25 a 64 años (%)</i>	<i>Población de 65 años y más (%)</i>	<i>Población extranjera (%)</i>	<i>Renta personal media (€)</i>
De 0 a 10 min.	104.674	12,6	53,8	19,5	55,0	25,5	18,6	14.651 €
De 10 a 20 min.	480.213	57,6	52,0	22,6	55,1	22,2	16,7	12.118 €
De 20 a 30 min.	69.677	8,4	50,4	30,8	58,6	10,6	6,9	12.318 €
De 30 a 40 min.	34.177	4,1	49,7	29,2	60,6	10,2	7,4	13.071 €
De 40 a 50 min.	24.120	2,9	49,8	26,8	57,3	15,9	12,4	11.932 €
De 50 a 1 h.	21.557	2,6	49,6	28,3	58,5	13,2	9,9	11.325 €
de 1 h. a 1 h. 30 min.	36.454	4,4	48,6	25,8	56,6	17,6	9,4	11.985 €
De 1h. 30 min. a 2h.	26.049	3,1	49,7	24,4	55,1	20,5	13,9	13.277 €
De 2h. a 3h.	26.531	3,2	48,9	24,0	61,4	14,6	11,4	13.912 €
Más de 3 h.	9887	1,2	45,1	22,9	61,3	15,8	6,2	11.585 €
Total	798.640	100,0	51,5	23,8	55,9	20,3	14,8	12.484 €

Fuentes: Base de datos Cátedra Territorio, Sociedad y visualización geográfica; base de datos GTFS de esta investigación y datos de población del Padrón municipal (2020). Elaboración propia.

Como se ha mencionado previamente, las diferencias temporales más reducidas se observan en los distritos de Centro y Casco Histórico. Aquí, la proximidad a Plaza de España y la alta frecuencia de los servicios de transporte público resultan en tiempos de viaje que varían menos de 10 minutos entre ambos medios de transporte. Esta situación afecta a algo más de 100.000 personas, lo que representa el 12,6% de la población total. Las características demográficas de las personas que residen en esta área, recogidas en la Tabla 5.10 incluyen una proporción notablemente alta de mujeres (53,8%), una estructura demográfica envejecida (25,5% de personas mayores de 65 años), un número relativamente considerable de residentes extranjeros (18,6%) y un ingreso per cápita muy superior a la media (14.651 €).

En el intervalo de diferencia de tiempo entre 10 y 20 minutos a favor del automóvil particular, se sitúan prácticamente todos los barrios de Zaragoza, tanto los tradicionales como los periféricos. Esta área alberga a 480.000 habitantes, lo que representa más de la mitad del total, en concreto el 57,6% de la población del área. Este hecho evidencia que el transporte público en el entorno urbano de Zaragoza es competitivo en comparación con el vehículo privado, ya que el aumento en el tiempo de viaje es aceptable para los usuarios. En cuanto a las características demográficas de esta población, al ser un grupo tan amplio, los valores se aproximan a la media. Sin embargo, se observa una feminización

significativa (52%), un importante envejecimiento (22,2% de personas mayores), un nivel elevado de residentes extranjeros (16,7%), y una renta per cápita ligeramente inferior a la media.

En un rango de diferencia de entre 20 a 30 minutos a favor del vehículo privado, se localizan algunos barrios periféricos de la ciudad de Zaragoza que no estaban incluidos en el caso anterior, como Parque Venecia, así como algunos sectores de Parque Goya, La Jota, Miralbueno y Valdespartera. En la mayoría de los casos, estos espacios se sitúan junto a importantes arterias de acceso a la ciudad, como Avenida Pirineos, Carretera de Madrid o Avenida de Cataluña, entre otras. Por consiguiente, el automóvil presenta una mayor rapidez sobre el transporte público, el cual se ve afectado por trayectos prolongados con un elevado número de paradas intermedias. En su totalidad, esta zona alberga al 8% de la población, lo que equivale a casi 70.000 habitantes. Entre sus características sobresalen la alta proporción de población joven, ya que el 30,8% de los residentes tienen menos de 25 años, y de nacionalidad española, sumando un 93,1%).

Con un sobre coste en el viaje de 30 a 40 minutos en transporte público frente al automóvil particular encontramos barrios rurales como Juslibol, San Gregorio o Venta del Olivar, así como, el municipio de Utebo. Para explicar estos casos encontramos dos tipos de causas. Por un lado, barrios que son servidos con buena frecuencia, pero por líneas largas y con gran cantidad de paradas intermedias, como es el barrio de San Gregorio o Venta del Olivar. Por otro lado, por una menor frecuencia de líneas, como son Juslibol, Arcosur y gran parte de Utebo, que reciben servicios de autobús cada 30 minutos. La población de este espacio suma unos 35.000 habitantes, un 4% del total, y de nuevo presenta una estructura por edad bastante joven, con un elevado número de población española y, en este caso, una renta per cápita por encima de la media, en concreto de, 13.017 €.

Las áreas con tiempos de viaje comprendidos entre los 40 minutos y 1 hora comienzan a perder la morfología en forma de anillo para expandirse a lo largo de los principales ejes de transporte. En estas dos categorías, encontramos localidades como Montañana, Santa Fé, Casetas, Monzalbarba y Villanueva de Gállego. En todos estos casos, los intervalos de espera entre los servicios de transporte público son de 30 minutos, pero la distancia a Zaragoza es mayor que en los casos anteriores. En este contexto, la población alcanza algo más de 45.000 habitantes, y mantiene una estructura demográfica relativamente joven (29,2% de menores de 24 años), con una proporción reducida de

población extranjera (7,4%). No obstante, en esta situación los ingresos per cápita se sitúan por debajo de la media, 13.071 €.

La siguiente categoría muestra diferencias en los tiempos de viaje que varían entre 1 hora y hora y media. Esta categoría se extiende íntegramente por los ejes de transporte del área de estudio e incluye localidades como la Puebla de Alfindén, Fuentes de Ebro, Cadrete y María de Huerva. En la mayoría de los casos son áreas donde los servicios de transporte tienen una frecuencia irregular, con un número de servicios que oscila entre diez y veinte frecuencias diarias. Estos núcleos de población albergan conjuntamente a 36.000 habitantes con características demográficas similares a las mencionadas anteriormente, resaltando una mayor proporción de hombres, ya que la tasa de feminidad se sitúa en un 48,8%.

Con divergencias en los tiempos totales de viaje de 1 hora y media a 2 horas encontramos importantes núcleos de población como Zuera, Alfajarín, El Burgo, Botorrita, La Joyosa, Pinseque y Alagón. Estos espacios cuentan con servicios de transporte altamente irregulares y/o con intervalos claramente superiores a la hora, lo que contribuye a prolongar los tiempos de desplazamiento. En conjunto, estos núcleos albergan a 26.000 habitantes. La población de esta zona presenta valores similares a la media del área de estudio, destacando únicamente una mayor renta media por persona, que asciende a 13.277 €.

Con sobrecostes de entre 2 a 3 horas en los tiempos totales de viaje en transporte público, se encuentran las localidades de San Mateo de Gállego, Nuez de Ebro, Mediana de Aragón, Mozota, Muel, La Muela, Figueruelas y Pedrola. Estas localidades suman 26.000 habitantes y presentan una población masculinizada, con una alta proporción de personas entre 25 y 64 años (60,7%) y una relativamente baja proporción de población mayor de 65 años (14,6%). Además, destacan por poseer un nivel de renta personal superior a la media, concretamente de 13.912 €.

Por último, con unos tiempos totales medios que superan las 3 horas en transporte público aparecen municipios que reciben muy pocos servicios al día. En esta situación se hallan las localidades situadas entre Nuez de Ebro y Pina de Ebro, en la carretera de Barcelona y el municipio de Épila. Los 9.900 habitantes de esta área enfrentan una clara desventaja en sus desplazamientos en transporte público debido a los prolongados tiempos de espera. En lo que respecta a las características sociodemográficas de esta población

destaca, al igual que en el caso anterior, una estructura con una elevada proporción de población adulta frente a una menor cantidad de población anciana, un porcentaje de extranjeros muy inferior a la media (6,2%) y una renta modesta por persona, de 11.585 €.

En conclusión, en la totalidad del ámbito de análisis, los tiempos totales de viaje en transporte público exceden a los del vehículo privado. No obstante, en la ciudad de Zaragoza, estas disparidades son mínimas, lo que indica que el transporte público mantiene su competitividad. En el área metropolitana los prolongados tiempos de espera resultan en considerables incrementos en el tiempo necesario para utilizar el transporte público, especialmente en la segunda corona metropolitana.

Capítulo 6. Hacia una red de transporte sostenible e inclusiva en el área metropolitana de Zaragoza: Propuestas de planificación dirigidas a la mejora del transporte público colectivo

En la sección actual se procede a la discusión de los resultados expuestos en el Capítulo 5. Se aborda de manera individual cada uno de los objetivos establecidos, para desembocar finalmente en la deliberación de enfoques propuestos con el fin de fomentar una red de transporte sostenible e inclusiva para Zaragoza y su entorno metropolitano.

6.1 Las diferencias en los patrones de variación espaciotemporal de la accesibilidad entre el automóvil y el transporte público

Con el propósito de abordar el objetivo general de la tesis doctoral, que consiste en analizar el grado de accesibilidad proporcionado por el sistema de transporte público en el área metropolitana de Zaragoza a su población, considerando sus características sociodemográficas, es necesario tener en cuenta no sólo las variaciones espaciales de la accesibilidad, sino también sus fluctuaciones temporales. Por ello, el primer objetivo específico de la tesis doctoral es utilizar una medida de la accesibilidad que capture la naturaleza dinámica de los servicios de transporte público.

Para alcanzar este objetivo, se ha establecido una base de datos de transporte público conforme al estándar de datos GTFS (Ver sección 3.2). Esta base de datos cuenta con los horarios específicos de todas las expediciones de transporte público, lo que posibilita la realización de cálculos de accesibilidad que reflejan la naturaleza dinámica del sistema de transporte público.

La importancia de tener en cuenta estas variaciones temporales de la accesibilidad radica en la diferente naturaleza de los desplazamientos en automóvil y en transporte público. Los viajes en automóvil no tienen las mismas etapas ni están sujetos a las importantes variaciones temporales de accesibilidad que sí ocurren en el caso del transporte público. Esto se debe a que el vehículo particular no implica tiempos de espera para el usuario, ya que está siempre disponible, derivándose las únicas variaciones temporales significativas del estado del tráfico o del tiempo dedicado a la búsqueda de aparcamiento si este se requiriera.

Podemos distinguir cuatro fases en un viaje en automóvil. En primer lugar, el tiempo de acceso al propio vehículo. El vehículo particular posibilita los trayectos de puerta a puerta, lo que generalmente implica la casi inexistencia de tiempos para acceder a pie desde el origen hasta el propio automóvil. La segunda fase se corresponde con el desplazamiento propiamente dicho; comprende el tiempo de conducción y constituye la

mayor parte de la duración del viaje. La tercera fase implica el estacionamiento, que en áreas congestionadas puede demandar un tiempo considerable. Por último, tendríamos el tiempo de desplazamiento a pie desde el lugar donde se aparcó el automóvil hasta el destino final.

Los viajes en transporte público presentan un esquema diferente al del vehículo particular compuesto por las siguientes etapas: el tiempo necesario para acceder desde el origen a la parada más cercana normalmente a pie, el intervalo de espera en la parada hasta la llegada del siguiente servicio, la duración del desplazamiento en sí incluyendo intercambios si los hubiere y el tiempo desde la parada de destino hasta el punto final. De todas estas fases la única directamente comparable con el transporte privado es el tiempo de desplazamiento.

El tiempo total de viaje en transporte público está sujeto a variaciones significativas en la accesibilidad a lo largo del día. Estas se originan debido a que el tiempo de espera en la parada y el tiempo utilizado en los trasbordos, que incluyen las esperas asociadas en estos intercambios, están sujetos al momento preciso en que se inicia el viaje. Este aspecto adquiere particular relevancia en situaciones donde el servicio de transporte público presenta frecuencias de paso bajas y/o irregulares, como ocurre en algunas localidades del entorno metropolitano de Zaragoza.

En una primera aproximación a este asunto se podría argumentar que, en situaciones de prolongados tiempos de espera hasta el siguiente servicio de transporte público, estos intervalos no reflejan la realidad ya que el usuario no estará físicamente presente en la parada durante todo este tiempo. Sin embargo, aunque este último hecho es cierto, el usuario tendrá que dejar transcurrir todo ese tiempo hasta poder iniciar el desplazamiento, independientemente de que pueda gestionarse para dedicarlo a otras tareas.

Para ilustrar esta situación, consideremos el caso de una persona que sale del trabajo en el centro de Zaragoza a las 18:00 horas y tiene un tiempo de desplazamiento estimado de 30 minutos hasta llegar a su domicilio en un municipio de la segunda corona metropolitana. Si esta persona pertenece al colectivo motorizado llegará a su destino aproximadamente a las 18:30 horas. Sin embargo, si forma parte del colectivo no motorizado dependerá del tiempo de espera por el transporte público. Suponiendo que el próximo servicio sea a las 19:30 horas, a pesar de que pueda utilizar esta hora y media para

realizar otras gestiones, llegará a su destino a las 20:00 horas, una hora y media después que en el caso anterior. Esta etapa de espera también puede ocurrir tras el desplazamiento en transporte público, dependiendo del sentido del viaje¹⁵.

Más en concreto, la única forma para que un pasajero del transporte público no se vea penalizado por los mencionados tiempos de espera sería si la actividad planificada en el lugar de destino no estuviera sujeta a horarios preestablecidos, permitiendo así una mayor flexibilidad para ajustarse a los horarios de transporte disponibles. Un ejemplo ilustrativo serían la movilidad por motivos de ocio, sin embargo, esta es menos común en comparación con los desplazamientos por motivos laborales, educativos o médicos, los cuales sí están sujetos a horarios establecidos.

En consecuencia, para el grupo de individuos que, por diversas circunstancias, carecen de acceso a un vehículo personal, los tiempos de espera en el transporte público son, en la mayoría de los casos, inevitables. Estos factores constituyen un obstáculo para la accesibilidad de este colectivo a oportunidades de empleo y servicios.

Como se ha indicado previamente, la aplicación del estándar de datos GTFS facilita la realización de cálculos de accesibilidad que consideran los horarios reales del transporte público, lo que permite estimar la accesibilidad en transporte público para el grupo de personas que dependen de él. Por lo tanto, se concluye que los análisis basados en datos GTFS son un enfoque apropiado para examinar la accesibilidad en transporte público, ya que tienen en cuenta sus variaciones espaciotemporales.

6.2 La relación entre la calidad del servicio de transporte y la accesibilidad

El segundo objetivo específico de esta tesis doctoral plantea examinar la distribución de la accesibilidad espacial en transporte público dentro del área metropolitana de Zaragoza. Este análisis, detallado en la sección 5.1, revela marcadas disparidades en los niveles de accesibilidad entre la ciudad de Zaragoza y su área metropolitana. Específicamente, Zaragoza exhibe niveles de accesibilidad en transporte público que se clasifican como buenos, muy buenos o excelentes, lo que facilita el acceso de su población a empleo y servicios. En contraste, el entorno metropolitano muestra niveles de

¹⁵ Por ejemplo, si una persona debe estar en el centro de Zaragoza a las 10 de la mañana, y los horarios de autobuses desde su lugar de origen son a las 8:00h. y a las 10:00h, para un trayecto de media hora necesitará tomar el primer servicio. Por lo tanto, llegará a destino a las 8:30 horas, teniendo que esperar hora y media hasta su cita a las 10 de la mañana independientemente de que pueda gestionar este tiempo para otras tareas.

accesibilidad más variables y generalmente más bajos, que oscilan desde la calificación de buenos hasta la de muy deficientes.

Los niveles de accesibilidad denominados como buenos se observan principalmente en los barrios rurales, mientras que la mayoría de los municipios del área metropolitana muestran valores de accesibilidad calificados como deficientes o muy deficientes. Esta categoría incluye a varios municipios con una población cercana o incluso superior a los 5.000 habitantes.

A la luz de estos resultados se puede afirmar que la hipótesis planteada, que establece que la accesibilidad en transporte público en la corona metropolitana de Zaragoza es insuficiente para asegurar un acceso adecuado y continuo al centro de la ciudad, es cierta. Si bien cabe matizar, que en algunos municipios colindantes con Zaragoza los niveles de accesibilidad se consideran buenos al poder asegurar un desplazamiento al centro de Zaragoza en 1 hora más del 90% del tiempo. También es destacable que, por norma general, la accesibilidad suele ser inferior en el espacio metropolitano que en la ciudad central al estar este más alejado y menos densamente poblado. Sin embargo, en el caso del entorno metropolitano de Zaragoza, aun teniendo en cuenta esta premisa, se considera que la accesibilidad en transporte público es baja para un espacio de estas características. De hecho, en los peores casos algunos municipios sólo pueden ser alcanzados desde Plaza de España menos de un 30% del tiempo invirtiendo menos de 2 horas. Esta circunstancia representa un obstáculo significativo para el acceso al empleo y a los servicios para el perfil de población no motorizada, entendido como aquel que depende del transporte público para hacer sus desplazamientos de forma autónoma, residente en entorno metropolitano de Zaragoza. Este aspecto será abordado con mayor profundidad más adelante dentro de esta discusión.

En la raíz de un mayor o menor nivel de accesibilidad encontramos la configuración de la red de transporte y la programación de los horarios de los servicios. En el caso del transporte urbano de la ciudad de Zaragoza se garantiza que una gran mayoría de la población pueda llegar a Plaza de España en menos de 30 minutos, e incluso en 15 minutos, independientemente del momento en que comience su desplazamiento. Esto implica que más de dos tercios de la población urbana disfrutan de un nivel de accesibilidad calificado como muy bueno o excelente.

Las características del servicio que facilitan estas condiciones son principalmente una amplia cobertura territorial dentro del área urbana, un extenso número de rutas de transporte, una alta frecuencia de los servicios y una regularidad en los intervalos de paso a lo largo de todo el horario de servicio. Estos dos últimos atributos contribuyen a minimizar las diferencias entre las áreas accesibles menos del 10% del tiempo y más del 90% del tiempo para un umbral específico. En la práctica, esto significa que los usuarios pueden estimar con precisión la duración de sus viajes, lo que fomenta el uso del transporte público debido a la reducción del tiempo máximo de espera y la mayor fiabilidad, lo que aumenta su competitividad. En consecuencia, la red de transporte público de Zaragoza movió a 98 millones de usuarios en 2022 (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza, 2023) quedando por encima de la de otras ciudades de similar tamaño.

En el caso de los espacios del entorno de Zaragoza que cuentan con líneas de transporte con una frecuencia regular de 30 minutos a lo largo del día, observamos niveles de accesibilidad clasificados como buenos. Esto implica que el 90% del tiempo se puede realizar un viaje a la ciudad de Zaragoza en menos de 1 hora, incluyendo los tiempos de espera. Aunque este nivel de accesibilidad es inferior al del área urbana, es adecuado considerando que estamos hablando de localidades ubicadas a una distancia del centro de Zaragoza de entre 7 y 17 kilómetros aproximadamente. La mayoría de estos espacios corresponden a barrios rurales de Zaragoza, aunque también incluyen a otros tres municipios: Cuarte de Huerva, Villamayor de Gállego y Utebo. En los tres casos, cuentan con un servicio de transporte con intervalos idénticos a los recientemente mencionados lo que resulta en un mismo grado de accesibilidad.

Por otro lado, la situación difiere en otros municipios cercanos o incluso más próximos a Zaragoza, como La Puebla de Alfindén o Alfajarín, donde las frecuencias son algo menores y las cadencias son irregulares. Por consiguiente, este hecho respalda la afirmación de que la regularidad en la cadencia favorece que se consiga un grado de accesibilidad mayor derivado de que las variaciones en el tiempo de viaje experimentadas por ese servicio serán uniformes, de forma que los tiempos máximos de espera serán los mismos entre servicios e inferiores a una frecuencia irregular, resultando todo ello en un grado de accesibilidad mayor.

Las líneas del Consorcio de Transportes del Área de Zaragoza (CTAZ) que ofrecen servicios con frecuencias de paso aproximadamente cada hora, pero con intervalos de frecuencia irregulares, como las que conectan Zaragoza con Villanueva de Gállego y Zuera

en el corredor norte; con La Puebla de Alfindén y Alfajarín en el corredor este; con Cadrete y María de Huerva en el corredor sur; o el servicio de cercanías entre Casetas y Zaragoza en el corredor oeste, generan niveles de accesibilidad calificados como regulares o deficientes. Estas líneas, que tienen uno o dos servicios por hora, presentan una distribución irregular, lo que significa que en algunas ocasiones el intervalo entre servicios es de tan solo 30 o 40 minutos, mientras que en otros casos el intervalo de espera puede ser de hasta hora y media.

La existencia de estos vacíos en los intervalos horarios de las líneas afecta notablemente al porcentaje de tiempo accesible, situándose aproximadamente alrededor del 50%, o en el mejor de los casos, superando el 70%, para un umbral de hora y media. Estos valores son inferiores a los que se obtendrían si estas líneas mantuvieran una frecuencia de paso regular. Bajo esta premisa en el caso de un umbral de hora y media, se esperaría que estos espacios fueran accesibles más del 90% del tiempo para trayectos de media hora o menos (como ocurre en la mayoría de los casos). Esto se debe a que, tras la llegada de una expedición, se debería esperar una hora hasta la siguiente, invirtiendo como máximo 30 minutos en el trayecto.

En el caso del resto de líneas, tanto aquellas que encontramos dentro del CTAZ como las que son titularidad de la DGA presentan diferentes niveles de servicio. Las más frecuentes suelen tener únicamente entre siete y doce expediciones por sentido y día y con una marcada irregularidad en los intervalos entre servicios. El escaso nivel de servicios y la notable irregularidad dan como resultado que los valores de accesibilidad sólo superen el 50% después de las dos horas, lo que indica un grado de accesibilidad muy deficiente en comparación con lo deseable para un área metropolitana. Esta situación dificulta el acceso al empleo y los servicios ubicados fuera del municipio, ya que se requiere de esperas prolongadas para realizar desplazamientos tanto recurrentes como ocasionales. Sin embargo, en el área metropolitana se encuentran algunos municipios que disponen de servicios de transporte con entre tres y seis expediciones por sentido y día. Ejemplos de estos municipios son San Mateo de Gállego, al norte; Pina de Ebro al este o Épila al suroeste. En estos casos la accesibilidad se reduce todavía más hasta situarse entre un 10% y un 30% para un umbral de dos horas en la mayoría de los casos. Estos valores de accesibilidad son catalogados como muy deficientes, lo que dificultan aún más el acceso al empleo y a los servicios. Para la población que reside en estos espacios, la posibilidad de realizar desplazamientos recurrentes a Zaragoza es muy limitada, llegando al punto de

estar completamente segregados de las dinámicas propias de un área metropolitana desde el punto de vista de la movilidad.

En resumen, podemos observar que, a igualdad de servicios de transporte público entre dos localidades poseerá un porcentaje mayor de tiempo accesible aquella que tenga una distribución horaria de los mismos más homogénea. Este hecho supone diferencias importantes en el nivel de accesibilidad que son más evidentes cuanto mayor es el intervalo de paso de los servicios de transporte, donde el nivel de accesibilidad puede variar mucho de un momento del día a otro. Este hecho evidencia que la accesibilidad en transporte público posee una doble dimensión, espacial y temporal, resultado de las fluctuaciones en los horarios de los servicios de transporte, lo que genera un fenómeno de expansión y contracción del área accesible desde una ubicación determinada.

A este respecto es beneficioso que el intervalo de paso entre los servicios de transporte mantenga una cadencia regular, lo que garantizará variaciones homogéneas en el nivel de accesibilidad y maximizará el porcentaje de tiempo que ese espacio es accesible para un umbral de tiempo determinado. Por tanto, se sugiere que los horarios de los servicios de transporte metropolitano se establezcan con intervalos regulares de tiempo, cuestión que se analizará con mayor detalle posteriormente en este mismo capítulo de discusión, junto con otras propuestas.

En este contexto, resulta imperativo señalar que a la hora de analizar un servicio de transporte público no sólo hay que considerar la mera existencia del mismo, como puede ocurrir con algunos equipamientos públicos, sino que es de capital importancia conocer su calidad, como pueden ser sus tiempos de recorrido y especialmente su nivel de frecuencias.

6.3 Los fuertes contrastes en el acceso de la población vulnerable al transporte público entre la ciudad de Zaragoza y su área metropolitana

El tercer objetivo específico de esta tesis doctoral se centra en la comprensión de las características sociodemográficas de la población en relación con el nivel de accesibilidad en transporte público desde sus domicilios. Con el propósito de abordar esta cuestión, se han examinado múltiples variables sociodemográficas en el punto 5.2, cuya interpretación se presenta a continuación.

La tasa de feminidad presenta una relación muy directa con la accesibilidad, y se observa que, a medida que la accesibilidad aumenta, también lo hace la tasa de feminidad. Este fenómeno puede atribuirse principalmente a dos factores. Por un lado, se destaca el éxodo rural que fue más intenso en el colectivo femenino. Por otro lado, se evidencia un

incremento en el envejecimiento de la población en los barrios más centrales de la ciudad de Zaragoza, los cuales también poseen las edificaciones más antiguas. Este envejecimiento, vinculado a una mayor esperanza de vida entre las mujeres, conlleva a una proporción más elevada de mujeres en estos barrios que son los que ostentan la mejor accesibilidad en transporte público.

En relación con la estructura por edad, se observa que la población joven, definida como aquella menor de 25 años, es más abundante en áreas con niveles de accesibilidad medios-altos. Estos niveles de accesibilidad se corresponden con los nuevos barrios periféricos de la ciudad de Zaragoza, así como con los barrios rurales y los municipios ubicados en la primera corona metropolitana.

La población adulta, comprendida entre los 25 y los 64 años, se caracteriza por mantener una distribución bastante uniforme a lo largo y ancho de toda el área de estudio.

La población mayor de 65 años muestra dos patrones de distribución claramente diferenciados. En primer lugar, la mayoría de este colectivo reside en áreas con una excelente accesibilidad dentro de la ciudad de Zaragoza, como son el Centro, el Casco Histórico y los barrios tradicionales. Por otro lado, también se observa una mayor proporción de población de la tercera edad en las localidades de ruralidad más marcada del área metropolitana que son las que presentan los peores niveles de accesibilidad en transporte público. En ambos casos, coinciden con espacios dominados por edificaciones antiguas. Este patrón de distribución es el contrario al descrito para la población más joven.

La población extranjera sigue el mismo patrón de distribución descrito para la población mayor, mostrando tasas más altas en los barrios centrales de Zaragoza y en las áreas con peores conexiones dentro del área metropolitana. En contraste, la población nacional se relaciona más estrechamente con el patrón mencionado para la población joven. Este hecho podría atribuirse a que las áreas periféricas mencionadas anteriormente albergan muchas promociones de vivienda nueva, que requieren un nivel de ingresos más elevado para su adquisición y que podría ser la razón detrás de una menor proporción de población inmigrante en estas zonas.

Por último, con respecto al nivel de ingresos de la población, los ciudadanos con mayor capacidad económica eligen principalmente el centro de Zaragoza, así como, urbanizaciones periféricas dentro del término municipal de la ciudad. Mientras que, los ciudadanos con menor nivel de renta se ubican en los barrios tradicionales y en los

municipios peor servidos del entorno metropolitano. En consecuencia, encontramos ciudadanos de ambos niveles de renta en espacios con buenos niveles de accesibilidad, sin embargo, las zonas con peor accesibilidad están más frecuentadas por ciudadanos de bajos ingresos.

Una vez analizados individualmente cada uno de los indicadores sociodemográficos, procederemos a abordar las hipótesis planteadas respecto a el objetivo de analizar las características sociodemográficas de la población en relación con el nivel de accesibilidad en transporte público desde sus domicilios. Específicamente, nos centraremos en dos hipótesis principales que serán objeto de análisis y discusión.

La primera hipótesis postula que la mayoría de la población reside en áreas con una buena accesibilidad al transporte público. A este respecto, el área de estudio comprende una población total de 798.640 habitantes, considerando tanto la población urbana como la metropolitana. En términos generales se observa que el 28,9% reside en áreas con un nivel de accesibilidad considerado como bueno, mientras que el 44,6% reside en áreas con un nivel de accesibilidad catalogado como muy bueno, y el 13% reside en áreas con un nivel de accesibilidad excelente. La combinación de estas tres categorías abarca al 86.4% de la población total del área, lo que sustenta la hipótesis inicial planteada.

La alta concentración de población en la ciudad de Zaragoza que ostenta niveles de accesibilidad elevados es el factor determinante detrás de la confirmación de la hipótesis planteada. Este fenómeno se fundamenta en la presencia de un sistema de transporte público bien desarrollado, caracterizado por una densidad significativa de líneas, frecuencias reducidas y horarios regulares. La configuración de este sistema de transporte se ve beneficiada por el hecho de que la ciudad de Zaragoza todavía conserva parte de la compacidad típica de las ciudades mediterráneas siendo el centro y los barrios tradicionales zonas con una elevada densidad de población (Calvo Palacios et al., 2014; Escolano-Utrilla et al., 2018).

En cambio, los niveles de accesibilidad en muchos de los municipios del área metropolitana se caracterizan por ser deficientes o muy deficientes. Por ende, la confirmación de esta hipótesis se apoya más en la elevada concentración de población en la ciudad de Zaragoza que en una distribución equitativa de la accesibilidad en toda el área de estudio.

La segunda hipótesis planteada es que las áreas con peor accesibilidad se corresponden con lugares con población vulnerable. En el contexto de este estudio, consideramos población vulnerable a aquellos individuos mayores de 65 años o aquellos cuyo nivel de ingresos se sitúa por debajo de la media.

Esta hipótesis se basa en la premisa de que aquellos lugares con menor accesibilidad, ya sea por estar en la periferia o por tener una infraestructura de transporte público menos desarrollada, estarán habitados por personas con menores ingresos al ser zonas más asequibles para residir. Los datos recopilados confirman esta premisa al mostrar que efectivamente la población de menor nivel de renta tiende a residir en dichas áreas menos accesibles. Sin embargo, otros factores como el estado o la antigüedad de los edificios también influyen, lo que explica la elevada proporción de población con bajos niveles de ingresos en los barrios tradicionales de Zaragoza.

En lo que respecta a la población mayor de 65 años, como se ha observado anteriormente, también constituye una proporción considerable de la población en las localidades con una menor accesibilidad en transporte público.

En conclusión, la hipótesis de partida se confirma, puesto que los espacios con los peores niveles de accesibilidad, aquellos con un porcentaje de tiempo accesible bajo para el umbral de 2 horas, están habitados por una proporción relativamente alta de personas mayores de 65 años y poseen asimismo niveles de renta claramente inferiores a la media. Es importante matizar que, a pesar de que estos espacios, en su mayoría pertenecientes a la segunda corona metropolitana, están ocupados por población vulnerable, gran parte de este grupo se encuentra en áreas de alta accesibilidad, especialmente en los barrios tradicionales de Zaragoza. Esto se debe a la elevada concentración de población en la ciudad de Zaragoza, lo que contribuye a mitigar esta situación.

No obstante, esta concentración poblacional en la ciudad también genera un desequilibrio, ya que la falta de población en el área metropolitana de Zaragoza dificulta la prestación de un servicio de transporte público de calidad en los municipios del entorno. Como resultado, aunque el volumen de población vulnerable en los espacios con menor accesibilidad no es excesivo, el grado de accesibilidad de estos espacios sí es muy deficiente, quedando muy por debajo de los niveles propios de un espacio metropolitano.

6.4 Acceso equitativo en transporte público para la mayor parte de la población vulnerable a los servicios esenciales: sanidad y educación

El transporte público es el único medio disponible para que ciertos segmentos de población puedan tener acceso a los servicios que cubren sus necesidades esenciales (Wilches Astudillo et al., 2021, p. 181). Entre estos servicios básicos se encuentran la educación y la sanidad. A este respecto, el quinto objetivo específico de la investigación consiste en evaluar el nivel de accesibilidad al transporte público para los grupos más vulnerables en los ámbitos de la sanidad y la educación superior. Para ello, se plantea la siguiente hipótesis: la mayor parte de la población vulnerable del área de estudio cuenta con un nivel de accesibilidad en transporte público adecuado a los servicios sanitarios y educativos.

Para contrastar esta afirmación, se ha llevado a cabo el análisis del punto 5.4, centrándose en la situación de los centros de salud, hospitales y los Campus de San Francisco y Río Ebro.

La accesibilidad de la población del área a los centros de salud en transporte público es superior a la accesibilidad al centro de Zaragoza debido a la presencia de centros de salud en otros municipios además de Zaragoza, distribuidos a lo largo y ancho del área de estudio.

Comenzando por la accesibilidad de la población a los centros de salud, los análisis realizados revelan que el 95% de las personas disfrutan de un grado de accesibilidad considerado bueno, de los cuales un 87% tiene un acceso calificado como excelente. En cuanto al restante 5% que posee un grado de accesibilidad regular, deficiente o muy deficiente, cabe señalar que no se trata de una población particularmente vulnerable, ya que, aunque hay personas de diferentes niveles de renta, la proporción de población mayor de 65 años se mantiene por debajo de la media.

El conjunto de población con un grado de accesibilidad excelente reside en localidades donde hay un centro de salud, lo que les permite desplazarse a pie hasta el mismo. Sin embargo, para las localidades que carecen de centro de salud, se presentan dos situaciones distintas.

Por un lado, están las localidades que cuentan con un servicio de transporte público frecuente. En estas áreas, los grados de accesibilidad a los centros de salud pueden variar desde regular hasta muy bueno, dependiendo de la calidad de la conexión en transporte público. Por ejemplo, en el caso de líneas como la Zaragoza-Casetas, que tienen

frecuencias de 10 minutos en hora punta, lugares como Venta del Olivar pueden disfrutar de un acceso muy bueno a los centros de salud de las localidades vecinas. Cuando la frecuencia de transporte público es cada 30 minutos, suele corresponderse con un grado de acceso calificado como bueno. Sin embargo, en el caso de líneas del CTAZ con frecuencias irregulares, que ofrecen entre uno y dos servicios por hora, se observa una categorización de acceso regular. Este fenómeno resalta la alta correlación entre el grado de acceso a los centros de salud y el nivel de frecuencias de los servicios de transporte público.

Por otro lado, las localidades que disponen de un servicio de transporte público irregular y poco frecuente muestran niveles de accesibilidad deficientes o muy deficientes a los centros de salud, incluso cuando estos se encuentran en municipios colindantes. La falta de oportunidades de desplazamiento dificulta que este centro de salud sea accesible para la población que no dispone de vehículo la mayor parte del tiempo.

Por consiguiente, la existencia de un sistema de transporte público eficaz mitiga la falta de un centro de salud en una localidad específica al facilitar el acceso al centro de salud que se encuentra en el entorno. En consecuencia, en áreas donde el sistema de transporte público está bien desarrollado, las localidades sin centros de salud propio tienen un acceso adecuado a los centros de salud cercanos. Sin embargo, en aquellas áreas con un sistema de transporte deficiente, la accesibilidad no se extiende de manera adecuada, lo que dificulta que la población metropolitana pueda acceder de forma autónoma.

Este escenario evidencia la capacidad del transporte público para incrementar la accesibilidad al empleo y a los servicios. Por lo tanto, una inversión destinada a mejorar el servicio de transporte público puede rentabilizarse a través de una mayor optimización de otros servicios. En el contexto analizado, esto podría traducirse en una mejor accesibilidad a los centros de salud sin la necesidad de erigir nuevas infraestructuras.

Además de analizar la accesibilidad en transporte público a los centros de salud, este estudio también ha examinado la accesibilidad a los hospitales del área metropolitana. El nivel de acceso a estos equipamientos es menor, dado que estos centros tienen una distribución espacial menos frecuente en el territorio. Esta menor frecuencia espacial se vincula con la frecuencia de utilización por parte de la población, puesto que, a parte de los pacientes en tratamiento regular o el personal propio, los demás usuarios solamente requerirán visitas ocasionales a los pacientes ingresados o asistir por alguna urgencia.

En concreto, el porcentaje de la población del área con un nivel de accesibilidad en transporte público calificado como bueno, muy bueno o excelente a los hospitales asciende al 88,7% del total, frente al 94,9% observado para los centros de salud. No obstante, esta diferencia es mucho más acusada si miramos la población con una accesibilidad excelente que disminuye hasta un 26,8% frente al 86,6% de los centros de salud.

En el área de estudio se localizan cuatro hospitales, todos situados dentro del municipio de Zaragoza. Sin embargo, es importante destacar que estos hospitales no ejercen el mismo nivel de influencia en la accesibilidad de la población. Mientras que tres de ellos están ubicados en áreas urbanas consolidadas y bien comunicadas por transporte público, el Hospital Royo Villanova se encuentra en el barrio rural de San Gregorio, a un kilómetro al norte de la ciudad de Zaragoza. Esta ubicación geográfica menoscaba su accesibilidad en transporte público, de forma que los barrios ubicados en la margen izquierda de San Gregorio presentan una accesibilidad en transporte público menor a los hospitales frente a aquellos ubicados en la margen derecha. Esta situación ocurre a pesar de que dos líneas de transporte urbano de Zaragoza finalizan en el citado hospital, una de las cuales opera con frecuencias de 10 minutos. Por consiguiente, la menor influencia en el nivel de accesibilidad de este hospital se atribuye más a su ubicación periférica que a la falta de disponibilidad de transporte público.

Niveles reducidos de accesibilidad o inequidades en la misma pueden exacerbar las desigualdades existentes en los ámbitos socioeconómicos y sanitarios. (J. Lee & Miller, 2018). En este caso, la accesibilidad aún aceptable pero limitada al transporte público desde este hospital repercutirá en la población vulnerable de los barrios de la margen izquierda, en particular en pacientes con movilidad reducida. Asimismo, se incrementará la utilización del vehículo privado contribuyendo a la congestión vial en el área y a los impactos negativos asociados a su utilización.

Otro efecto derivado de la ubicación de este hospital es la necesidad de extender dos líneas urbanas, específicamente la 29 y la 50, alrededor de un kilómetro hasta llegar a este barrio rural. En consecuencia, San Gregorio, con menos de 500 habitantes, cuenta con dos líneas de autobús a Zaragoza, una de ellas con frecuencias de 10 minutos. Esta prolongación indudablemente aumenta los costos de prestación del servicio del transporte público, una situación que no se observa para el resto de los hospitales integrados dentro de la trama urbana. Por tanto, la ubicación excéntrica de este hospital resulta en una menor accesibilidad general, incluso teniendo únicamente en cuenta la población de su zona de

salud, conllevando mayores costos en la prestación del servicio de transporte público urbano.

En consecuencia, resulta imperativo concebir políticas públicas que integren tanto el desarrollo urbano como el acceso a la salud, orientadas a fomentar una mayor inclusión sanitaria para todos los estratos de la población. Estas políticas deben considerar la elevada edad y la condición física debilitada de los pacientes (López et al., 2019, p. 72).

A continuación, se aborda el tema de la accesibilidad en el transporte público en relación con la educación superior enfocándose en los dos Campus Universitarios de la ciudad de Zaragoza: San Francisco y Río Ebro. En el contexto de una ciudad dispersa el Campus Universitario constituye un recinto segregado del resto de la ciudad, constituyendo una estructura densa, pero a la vez aislada, de difícil acceso (Miralles-Guasch, 2011 como se citó en Gutiérrez-Gallego & Pérez-Pintor, 2019, p. 128).

En el presente estudio se decide abordar sólo el acceso a la educación superior ya que para la educación primaria y secundaria se disponen rutas específicas de transporte escolar que reducen la dependencia del transporte público convencional a estos estudiantes. Sin embargo, los estudiantes de educación superior sí dependen de este último para sus desplazamientos. Además, se trata de un grupo poblacional relativamente poco motorizado.

El análisis de la accesibilidad en transporte público hacia el Campus San Francisco de Zaragoza revela que aproximadamente un 10,8% de la población total posee un grado de accesibilidad calificado de excelente. Se trata de una cifra inferior a la observada para los hospitales y centros de salud al analizarse en este caso un único equipamiento. Sin embargo, la mayoría de la población del área (85,9%) puede acceder al campus con un grado de accesibilidad clasificado como bueno, muy bueno o excelente, lo que implica un tiempo total de viaje de una hora o menos dentro de las horas de servicio, un resultado similar al obtenido para los hospitales, a pesar de la diferencia en el número de ubicaciones evaluadas. Se puede afirmar que la accesibilidad a este equipamiento es buena.

En relación con el acceso al Campus Río Ebro mediante transporte público, su situación geográfica en el límite norte de la ciudad y su proximidad a áreas escasamente urbanizadas contribuyen a que únicamente el 2% de la población disfrute de un nivel de acceso en transporte público considerado excelente y un 14,1% de un nivel muy bueno. Estos dos niveles de accesibilidad son notablemente inferiores en comparación con el resto

de equipamientos estudiados, a pesar de la presencia de una parada de tranvía y dos líneas de autobuses en sus inmediaciones. Sin embargo, al considerar a aquellos habitantes con niveles de accesibilidad bueno o superior, la cifra se eleva al 81,5%, valor similar al conseguido por los Hospitales o el Campus de San Francisco.

Al igual que en el caso del Hospital Royo Villanova observamos como la ubicación periférica de un equipamiento público disminuye considerablemente su accesibilidad en transporte público. En concreto esta ubicación, afecta a los niveles de accesibilidad más elevados teniendo una repercusión mucho menor al analizar los niveles de accesibilidad considerados aceptables en su conjunto. Aunque los problemas de movilidad a los que se enfrenta el Campus Río Ebro no son tan elevados como ocurre en otras ciudades españolas donde los campus universitarios poseen una localización mucho más periférica como es el caso del Campus de la Universidad Autónoma de Barcelona (Miralles-Guasch et al., 2013) y el Campus de Cáceres (Gutiérrez-Gallego & Pérez-Pintor, 2019), entre otros. Esta circunstancia emerge de la exigencia de una extensión considerable de terreno para erigir dichas infraestructuras, la cual se ve limitada por la escasez de espacios disponibles en los entornos urbanos convencionales y densamente poblados. Esta insuficiencia de espacio prácticamente impide el establecimiento de nuevas ciudades universitarias en áreas ya consolidadas.

Las infraestructuras analizadas evidencian que la ubicación de grandes centros atractores de movilidad en la periferia urbana resultan en una disminución de la accesibilidad en transporte público frente a aquellos que se encuentran integrados dentro de la trama urbana. Este fenómeno se manifiesta a pesar de los esfuerzos realizados por dotar de buenas conexiones de transporte público a estas ubicaciones. Las ubicaciones periféricas conllevan una menor equidad en el acceso a dichas instalaciones para grupos poblacionales más vulnerables, como aquellos que, debido a su edad, nivel de ingresos, discapacidad u otras circunstancias, carecen de vehículo propio. Estos aspectos resaltan la importancia de la integración entre la planificación del uso del suelo y el transporte en aras de promover una mayor equidad en la accesibilidad a servicios esenciales como la sanidad y la educación para todos los segmentos de la población.

Retomando la premisa planteada, la cual sugiere que la mayoría de la población en situación de vulnerabilidad dentro del área de estudio posee un nivel adecuado de accesibilidad al transporte público para acceder a servicios sanitarios y educativos, se puede afirmar que dicha premisa se confirma. Los análisis realizados indican que, en todos

los casos estudiados, más del 80% de la población presenta un nivel de accesibilidad aceptable. Además, se ha demostrado a lo largo de este estudio que la proporción de individuos en situación de vulnerabilidad es mayor en la ciudad de Zaragoza, la cual exhibe una estructura demográfica más envejecida en comparación con el área metropolitana.

6.5 Las desigualdades en la accesibilidad del colectivo no motorizado frente al motorizado

El quinto objetivo específico de esta tesis doctoral consiste en analizar las disparidades en el grado de accesibilidad entre dos grupos de población: el colectivo motorizado y el colectivo no motorizado. Los resultados obtenidos muestran una elevada diferencia entre los tiempos de desplazamiento en vehículo privado donde toda el área de estudio presenta buenos niveles de accesibilidad y los del transporte público que son mucho más dispares entre el área urbana y el área metropolitana. En la totalidad del ámbito de análisis, se observa que los tiempos totales de desplazamiento en transporte público superan a aquellos en vehículo privado. Puede afirmarse que la accesibilidad del colectivo de población motorizado es superior a la del colectivo no motorizado.

Entrando más en detalle, las disparidades en los tiempos de transporte son menores en la ciudad de Zaragoza. En concreto, 100.000 habitantes poseen sobrecostes inferiores a 10 minutos en su desplazamiento a Plaza de España y 480.000 habitantes, diferencias entre los 10 y 20 minutos. En suma, totalizan un 70,2% de la población del área, lo que indica que el transporte público mantiene su competitividad dentro de la ciudad de Zaragoza. Además, se demuestra que la mayoría de la población posee buenos niveles de accesibilidad en ambos medios.

Dentro del contexto del área metropolitana, se observa que los tiempos de espera más prolongados generan incrementos significativos en el tiempo total de viaje del transporte público en comparación con el vehículo particular. No obstante, estas disparidades no se presentan de manera uniforme en todas las ubicaciones, sino que están estrechamente vinculadas a la frecuencia del servicio de transporte público. En consecuencia, las áreas con servicios regulares cada 30 minutos experimentan demoras respecto al vehículo particular que oscilan entre 30 minutos y 1 hora. Por otro lado, las zonas con líneas operando con frecuencias cercanas a la hora y horarios poco consistentes muestran divergencias de entre una hora y hora y media. Respecto a las áreas restantes, que se sitúan exclusivamente dentro de la segunda corona metropolitana, las diferencias en los

tiempos superan la hora y media, llegando hasta valores superiores a las tres horas a medida que se reduce el número de servicios diarios. La relación que se observa entre la accesibilidad y la calidad del servicio de transporte público ha sido anteriormente en este mismo capítulo.

El motivo subyacente en las significativas diferencias observadas en los tiempos de viaje radica en la diferente naturaleza de los desplazamientos en automóvil y en transporte público, aspecto discutido en la sección 6.1. En resumen, mientras que en el caso del vehículo privado el conductor tiene la capacidad de determinar el momento de inicio del viaje y el destino de este, un usuario dependiente del transporte público tendrá que ceñirse a las rutas de transporte preestablecidas y aguardar el tiempo necesario hasta la llegada de la próxima expedición, lo que resulta en una clara disminución de su nivel de accesibilidad. Por lo tanto, la accesibilidad en vehículo privado presenta unos tiempos de recorrido casi uniformes mientras que la del transporte público goza de gran variabilidad.

Volviendo a los resultados obtenidos, resulta notable la existencia de incrementos en los tiempos de viaje que superan las tres horas. Estos ocurren en las localidades peor atendidas del área metropolitana, las cuales cuentan con entre tres y cinco expediciones de transporte público por día laborable. Es relevante señalar que el usuario cautivo del transporte público se verá obligado a enfrentar inevitablemente estos tiempos de espera, independientemente de si se encuentra físicamente en la parada respectiva; siempre deberá ajustarse y gestionarlos. Esta espera puede ocurrir tanto en el punto de origen como en el destino, o en ambos, dependiendo del horario establecido por el servicio de transporte público. La única forma en la que el usuario puede mitigar estos tiempos es si la motivación por la que se realiza el viaje no requiere de horarios prefijados.

En situaciones donde el número de expediciones diarias es tan reducido, resulta igualmente crucial no solo considerar la cantidad, sino también asegurar que los horarios estén adecuadamente alineados con las principales motivaciones de viaje. De lo contrario, existe la posibilidad de que ciertos empleos o servicios se vuelvan inaccesibles para esta población, a pesar de contar con un cierto nivel de servicio de transporte público.

En conclusión, los elevados tiempos de espera a los que experimentan los individuos que dependen del transporte público para poder realizar sus desplazamientos de manera autónoma en numerosas localidades pertenecientes al entorno metropolitano de Zaragoza, reducen significativamente su accesibilidad frente a aquellos que disponen de

automóvil. Se confirma la hipótesis inicial: la accesibilidad del grupo no motorizado es inferior a la del motorizado en toda el área investigada, especialmente en el entorno metropolitano de Zaragoza.

6.6 Propuestas de planificación encaminadas al diseño de una red de transporte sostenible e inclusiva para Zaragoza

En esta sección se exponen una serie de propuestas planteadas con la finalidad de mejorar la accesibilidad del colectivo no motorizado, respondiendo de esta manera al último objetivo específico de esta tesis doctoral: Proponer y valorar medidas encaminadas a mejorar la accesibilidad y reforzar la sostenibilidad e inclusión de la movilidad en el área metropolitana de Zaragoza.

La falta de accesibilidad en el transporte público es un factor crucial de exclusión social (J. Lee & Miller, 2018). Mejorar la accesibilidad en el transporte público fomenta la equidad contribuyendo a hacer que el sistema de transporte sea más inclusivo, beneficiando a un amplio espectro de la sociedad que no puede disponer de vehículo privado.

Además, esta mejora tendrá un impacto positivo no solo en la dimensión social de la sostenibilidad, sino también en la vertiente ambiental, dado que el transporte público se caracteriza por ser más respetuoso con el medio ambiente en comparación con el uso del vehículo privado.

6.6.1 Propuestas de mejora del sistema de transporte público de la ciudad de Zaragoza

A lo largo de la investigación se ha evidenciado que el nivel de accesibilidad proporcionado por la red de transporte urbano de Zaragoza es considerablemente alto. En consecuencia, una sugerencia viable sería conservar la red actual, dado que ya ofrece un nivel de accesibilidad bastante adecuado. No obstante, se discuten a continuación una serie de propuestas encaminadas a potenciar aún más la accesibilidad en esta ciudad.

Las medidas sugeridas son las siguientes:

- Establecer corredores principales con una elevada frecuencia de servicios, ya sean de tranvía, metro ligero o autobús de tránsito rápido.
- Ampliar la red de carriles bus.
- Implementar un sistema de prioridad semafórica para el transporte público.
- Introducir nuevas líneas lanzadera.

A continuación, se procede a detallar el alcance y localización de las medidas propuestas. En primer lugar, se sugiere implementar mejoras en los corredores con mayor demanda de desplazamientos, reemplazando las líneas de autobús existentes por una línea troncal cubierta por un medio de transporte de alta capacidad, ya sea de tranvía, metro ligero o autobús de tránsito rápido. Entre sus características debe incluirse una elevada frecuencia de paso y una mayor velocidad comercial. Esta sugerencia se fundamenta en los resultados que evidencian que la línea 1 del tranvía proporciona un nivel de accesibilidad superior a aquellas áreas a las que presta servicio en comparación con otras conexiones radiales servidas por autobuses.

En este sentido, la revisión del Plan de Movilidad Urbana de Zaragoza (Ayuntamiento de Zaragoza, 2019b, pp. 33-40) ya contempla esta red troncal definiendo cuatro rutas prioritarias: una correspondiente a la actual línea 1 del Tranvía, dos corredores radiales existentes desde Oliver hasta Las Fuentes y San José, y desde Torrero hasta Santa Isabel, y una cuarta línea circular que conecta los diversos barrios de la ciudad pasando por la Estación Delicias. Las ventajas primordiales de esta propuesta radican en el incremento de la capacidad, la optimización de la velocidad comercial y la mejora en la comodidad de los traslados. Por lo tanto, se sugiere añadir estos tres corredores a la red de tranvía existente con una única modificación, en el primer corredor propuesto se recomienda extender el servicio desde Los Enlaces hasta Valdefierro por medio de un ramal diferente al que se dirige a Oliver.

A modo de segunda alternativa se podrían implementar corredores de autobuses de tránsito rápido, conocidos como BRT por sus siglas en inglés, en vez de nuevas líneas de tranvía en los tres corredores de la mencionada red troncal. Este medio de transporte consiste en la utilización de autobuses de gran capacidad que circulan por vías dedicadas exclusivamente a ellos, con el propósito de ofrecer un transporte de masas eficiente y rápido.

La implantación de una ruta de autobús de tránsito rápido admite una amplia variedad de niveles de servicio. No obstante, para garantizar la calidad de este servicio se requieren características específicas tales como: una alta frecuencia de paso de entre 3 a 5 minutos, la existencia de un carril segregado del resto del tráfico, prioridad en los cruces viales, paradas que permitan el pago previo al abordaje, similares a las del Tranvía de Zaragoza, vehículos modernos y con mayor capacidad, así como un sistema de información en tiempo real. Todo ello permite igualar a este medio de transporte en

capacidad y velocidad comercial con los tranvías obteniendo dos grandes ventajas propias de los BRT que son: menor coste y mayor flexibilidad (Willumsen & Lillo, 2005, pp. 710-712).

Asimismo, muchas de las características mencionadas para los autobuses de tránsito rápido pueden ser consideradas como recomendaciones para implementar en el resto de la red de autobuses, habida cuenta de la cantidad de corredores donde operan al menos dos líneas con frecuencias de aproximadamente 6-8 minutos cada una. Específicamente, se sugiere incrementar la extensión de los carriles exclusivos para autobuses, así como la instalación de cruces con prioridad semafórica para el transporte público, lo que contribuiría a mejorar la velocidad comercial en aquellas rutas radiales de mayor demanda no incluidas en la red troncal. Ambas actuaciones se sugieren para los siguientes ejes: San Juan de la Peña, Miguel Servet, Cesáreo Alierta – Paseo Constitución, Avenida Gómez Laguna - Avenida San Juan Bosco - Avenida de Valencia, Avenida Duquesa Villahermosa – Paseo de Teruel – Avenida de César Augusto y Avenida de Navarra - Paseo de María Agustín – Paseo de Pamplona.

Los barrios periféricos de la ciudad de Zaragoza soportan los tiempos de viaje más elevados, lo que se traduce en una disminución de los niveles de accesibilidad en comparación con el resto de la ciudad. El impacto de las propuestas planteadas aumentará la accesibilidad de manera inherente, no obstante, se proponen dos medidas adicionales.

La primera medida propuesta implica la implementación de líneas lanzadera de autobús para enlazar los barrios periféricos con las nuevas rutas troncales. En la ciudad ya existen líneas de este tipo que conectan barrios periféricos con la línea de tranvía (líneas de la 54 a la 59). La principal ventaja de estas líneas lanzadera es que poseen trayectos considerablemente más cortos que una línea radial convencional, lo que permite las frecuencias de paso con igual o menor cantidad de vehículos. El principal inconveniente es la necesidad de realizar un trasbordo, para mitigarlo, se requiere que este sea simple y que los tiempos de espera sean mínimos, algo que se podría cumplir dada la elevada frecuencia de paso de las líneas troncales.

Resulta fundamental subrayar que el enfoque de establecer líneas troncales y alimentadoras favorece la dinámica centro-periferia, pero dificulta las relaciones entre áreas periféricas que podrían requerir de múltiples trasbordos. Teniendo esto en cuenta la planificación debe orientarse hacia el propósito de extender el servicio de las líneas

troncales a áreas periféricas a donde estas no llegan, en lugar de dividir las rutas radiales o diametrales mediante una superposición parcial con la red principal.

Considerando esta premisa, se plantean líneas alimentadoras de la red troncal con frecuencias de entre 5 a 8 minutos en los siguientes lugares: Desde la actual cabecera norte del tranvía hasta San Gregorio (en sustitución de las líneas 29 y 50), desde Torrero hasta Parque Venecia y Puerto Venecia (mejorando la conexión de la actual línea C4), desde los enlaces a Arcosur y Rosales de Canal (línea de nueva creación), Valdefierro (en sustitución de la línea 36) y Miralbueno hasta Los Enlaces (en sustitución de la línea 53).

6.6.2 Propuestas de mejora del sistema de transporte público del entorno de Zaragoza

En contraste con la ciudad de Zaragoza, la accesibilidad en el entorno metropolitano exhibe claras deficiencias. Con la finalidad de corregir esta situación se proponen las siguientes medidas:

- Aumentar la frecuencia actual de las rutas de transporte.
- Establecer horarios con intervalos regulares.
- Introducir nuevas líneas lanzadera.
- Mejorar la integración de los servicios por carretera y ferroviarios.
- Suprimir las restricciones de tráfico vigentes para facilitar la movilidad.

La presencia de numerosas localidades con niveles de accesibilidad catalogados como deficientes o muy deficientes fundamenta la necesidad de incrementar el número de servicios de transporte público. Esta expansión se orienta principalmente hacia la segunda corona metropolitana, donde se registran valores calificados como “deficientes” o “muy deficientes”. Asimismo, se propone extender estas mejoras a ciertas localidades de la primera corona que requieren ser equiparadas con los vecinos barrios rurales del municipio de Zaragoza para alcanzar un nivel de accesibilidad considerado satisfactorio.

La segunda medida propuesta consiste en la implementación de horarios de servicio con intervalos regulares de paso en las líneas de transporte metropolitano, con el propósito de maximizar la accesibilidad. Esta recomendación está fundamentada en los hallazgos de esta investigación, los cuales indican que, en situaciones de igualdad en el nivel de servicio entre dos localidades determinadas, aquella con una distribución horaria más regular poseerá un mayor porcentaje de tiempo accesible para un umbral de duración determinado.

A continuación se presenta una propuesta de esquema de servicios que toma como base lo expuesto en las Directrices Metropolitanas de Movilidad de Zaragoza (Consortio de Transportes del Área de Zaragoza et al., 2016), así como, a lo expuesto por el Proyecto del servicio de transporte público de viajeros por carretera en Aragón (Departamento de Vertebración del Territorio, Movilidad y Vivienda: Gobierno de Aragón, 2021). No obstante, esta investigación propone un nivel de accesibilidad ligeramente más elevado, tanto en la expansión de los servicios como en la regularidad de los horarios.

En lo que respecta a los barrios rurales, los niveles de accesibilidad son adecuados, dado que muchos de ellos reciben servicios de transporte cada media hora en intervalos regulares. En consecuencia, no se sugieren mejoras en la frecuencia de estos servicios¹⁶, salvo la eventual implantación de líneas lanzadera, las cuales se discutirán más adelante en este apartado.

En la primera corona metropolitana, se sugiere aumentar la oferta de servicios en los municipios cercanos a Zaragoza o aquellos con mayor densidad poblacional, estableciendo una frecuencia de un servicio cada 30 minutos. Esta medida tiene como finalidad equiparar el nivel de accesibilidad de estos municipios, como Pastriz, Villamayor de Gállego y La Puebla de Alfindén y Alfajarín¹⁷, con el de los barrios rurales de su área circundante.

En la segunda corona metropolitana, se plantea la implementación de tres niveles distintos de servicio. En primer lugar, para las rutas que transitan por los principales corredores del área de estudio se propone un servicio con una hora de frecuencia. Estas rutas comprenderían la Zaragoza-Zuera, en el corredor norte; Zaragoza – Fuentes de Ebro en el este; Zaragoza – María de Huerva, en el sur; Zaragoza – La Muela, en el suroeste; y Zaragoza – Alagón, en el oeste¹⁸.

¹⁶ Tanto las Directrices Metropolitanas de Movilidad de Zaragoza como el Proyecto del servicio de transporte público de viajeros por carretera en Aragón comparten la idea de no aumentar los servicios en estos núcleos.

¹⁷ La propuesta se asemeja al Proyecto del servicio de transporte público de viajeros por carretera en Aragón, con un ligero aumento en horas valle. Sin embargo, se sugiere duplicar el servicio en Pastriz, aprovechando la posibilidad de extender la línea Zaragoza-Movera en 5 kilómetros sin afectar el nivel de servicio actual

¹⁸ En la mayoría de los casos las Directrices Metropolitanas sugieren frecuencias de al menos 20 expediciones diarias, lo que requeriría un aumento a un mínimo de 32, 16 por sentido (aproximadamente una cada hora durante 16 horas de servicio). El Proyecto del servicio de transporte público de viajeros por carretera en Aragón mantiene niveles comparables a los sugeridos en la propuesta, con excepción del municipio de La Muela y los tramos que conectan Casetas con Pinseque, Alagón y Torres de Berrellén, en los

En segundo lugar, se sugiere un servicio cada dos horas, con un aumento de la frecuencia a 60 minutos durante las horas punta, para los siguientes municipios: San Mateo de Gállego, al norte; el trayecto entre Nuez de Ebro y Pina de Ebro, al este; María de Huerva y Muel, al sur; La Muela y Épila, al suroeste; así como, Alagón-Pedrola, Casetas-Pinseque, y Casetas-Torres de Berrellén, al oeste¹⁹.

Por último, restan algunos municipios de pequeño tamaño demográfico y ubicaciones al margen de los principales ejes de transporte como Ontinar de Salz, Mediana de Aragón, Jaulín o Épila. En este caso, dada su marcada ruralidad se sugiere adoptar el mismo nivel de servicio establecido en las directrices metropolitanas: 10 expediciones diarias, distribuidas en 5 servicios por sentido²⁰.

La tercera medida planteada sería la incorporación de rutas de transporte lanzadera dentro del contexto metropolitano de Zaragoza con la finalidad de cubrir dos situaciones diferentes.

Por una parte, se podría considerar la creación de líneas lanzadera desde las localidades contiguas a la ciudad de Zaragoza hasta las rutas troncales definidas con anterioridad²¹. Ejemplos concretos incluyen la posibilidad de establecer conexiones desde Juslibol y Cuarte de Huerva hasta la línea 1 del tranvía, desde las localidades de Peñaflor, Montañana y Movera hasta Santa Isabel o desde la Plataforma logística PLAZA hasta Los Enlaces. Esta estrategia permitiría incrementar la frecuencia de los servicios a aproximadamente 15 minutos, actualmente establecida en intervalos de 30 minutos, sin requerir un aumento en la flota de vehículos utilizados ni en los kilómetros recorridos.

Por otra parte, estas líneas lanzadera pueden ser empleadas con el propósito de facilitar el acceso desde aquellos núcleos alejados de los principales ejes de transporte hasta puntos de transbordo con las principales líneas metropolitanas. En este escenario, se precisa una sincronización de los horarios de operación. Un caso ilustrativo sería la

cuales adopta una postura más conservadora al proponer frecuencias de servicio cada 2 horas, con refuerzos cada 60 minutos durante las horas de mayor demanda.

¹⁹ Concuerda con el nivel propuesto por el Proyecto del servicio de transporte público de viajeros por carretera en Aragón a excepción de los tramos entre Botorríta, Mozota y Muel, y Figueruelas Pedrola para los que propone 5 frecuencias por sentido únicamente.

²⁰ Tanto las Directrices Metropolitanas de Zaragoza como el Proyecto del servicio de transporte público de viajeros por carretera en Aragón proponen este mismo número de expediciones para estas localidades.

²¹ Esta propuesta es exclusiva de este estudio.

vinculación de las localidades de Torres de Berrellén, La Joyosa y Sobradiel con Casetas, así como, Pinseque con Casetas²² permitiendo la transferencia a otros servicios con destino a Zaragoza.

La baja densidad demográfica en el área metropolitana de Zaragoza presenta desafíos para la implementación de servicios ferroviarios concebidos para manejar grandes volúmenes de pasajeros. En este contexto, la línea de cercanías de Zaragoza destaca por ser la más limitada tanto en extensión como en número de usuarios en comparación con otras redes de cercanías en España, con un total de 0,4 millones de viajes en 2023 (D. López, 2024). Esta situación plantea interrogantes sobre la necesidad de expandir o fortalecer tales servicios. No obstante, se contempla la posibilidad de mejorar la red de trenes regionales que operan en Aragón, aumentando también los servicios en las estaciones del área metropolitana. Esto permitiría que el servicio de cercanías desempeñe un papel complementario reforzando las frecuencias dentro del área de estudio.

En esta línea, una cuarta medida consistiría en la coordinación de los servicios ferroviarios y de autobuses para establecer trasbordos sincronizados. A modo de ilustración, las dos líneas de alimentación mencionadas anteriormente, con origen en Torres de Berrellén y Pinseque, respectivamente, y destino en Casetas, podrían efectuar trasbordo de manera coordinada con los servicios de trenes de cercanías y regionales que sirven a la estación de Casetas.

Como última medida, se propone la eliminación de las restricciones de tráfico vigentes entre las líneas operadas por diferentes empresas dentro del área metropolitana de Zaragoza. Esta acción posibilitaría que todos los servicios pasantes, es decir, aquellas rutas de autobús de titularidad autonómica que tienen paradas en el área de estudio, pero cuyo origen o destino se encuentra fuera de esta, complementen y refuercen los servicios de transporte disponibles en el área metropolitana. Este cambio requeriría una planificación de horarios también para estos servicios, con el objetivo de garantizar la mayor regularidad posible dentro del área.

²² Las Directrices Metropolitanas de Zaragoza proponen una única línea lanzadera entre Pinseque y Torres con trasbordo en Villarrapa. El Proyecto del servicio de transporte público de viajeros por carretera en Aragón si muestra las dos líneas aquí propuestas estableciendo el punto de trasbordo de nuevo en Villarrapa para el caso de la línea Torres de Berrellén y en Casetas para la de Pinseque.

La eliminación de las restricciones de tráfico está contemplada en los proyectos de servicios de transporte público por carretera del Gobierno de Aragón (Departamento de Vertebración del Territorio, Movilidad y Vivienda: Gobierno de Aragón, 2021). Por consiguiente, esta medida se llevará a cabo en la nueva reorganización y mejora de las líneas de autobús de Aragón, cuya implementación está programada para comenzar a partir de abril de 2024 (Alonso, 2024).

La implantación de esta reciente reorganización de los servicios de transporte público en Aragón resultará en un aumento en el número de expediciones en el área examinada, tanto mediante la introducción de nuevas frecuencias como mediante la supresión de restricciones de tráfico. En consecuencia, se espera que el grado de accesibilidad en transporte público para la población del área metropolitana mejore en comparación con los niveles bajos observados en este estudio. Sin embargo, esta reordenación aún no contempla la adopción de una programación regular en los horarios de transporte, aspecto que sería altamente beneficioso.

Capítulo 7. Conclusiones

Un nivel apropiado de accesibilidad en transporte público al empleo y los servicios es fundamental para prevenir la exclusión social de todas aquellas personas que carecen de acceso a un vehículo personal (Lucas, 2012). El grado de accesibilidad en transporte colectivo experimenta fluctuaciones notables a lo largo del día debido a los tiempos de espera hasta la siguiente oportunidad de viaje entre dos ubicaciones específicas. Por ende, al analizar el acceso en transporte público, es fundamental considerar estas variaciones temporales (Farber et al., 2014), especialmente en aquellos lugares donde el servicio presenta frecuencias de paso bajas y/o irregulares, como ocurre en algunas localidades del entorno metropolitano de Zaragoza.

La creación de una base de datos de transporte colectivo siguiendo las directrices del estándar de datos GTFS ha posibilitado la realización de cálculos de accesibilidad que capturan tanto las variaciones espaciales como temporales de la misma al disponer de los horarios reales de las expediciones. Por consiguiente, los análisis basados en datos GTFS se perfilan como una metodología idónea para investigar estas fluctuaciones tal y como lo demuestran estudios previos (Farber et al., 2014; Farber & Fu, 2017; Fransen et al., 2015; J. Lee & Miller, 2018; Stępnia & Goliszek, 2017). Esta afirmación se ha corroborado tras su implementación en el área metropolitana de Zaragoza.

El análisis de la accesibilidad en transporte público en el área de estudio revela un fuerte contraste entre la ciudad de Zaragoza y su área metropolitana. La ciudad exhibe niveles muy elevados, calificados como muy buenos o excelentes en la mayoría de los casos, gracias a su desarrollado sistema de transporte público urbano. Por otro lado, los barrios rurales de su término municipal se sitúan, por regla general, en la categoría de “bueno”. Esto implica que la población no motorizada que reside en el municipio disfruta de un grado de acceso satisfactorio al empleo y a los servicios y, por lo tanto, no enfrenta problemas de pobreza de transporte ni se encuentra en riesgo de exclusión social por este motivo.

Por el contrario, la accesibilidad en transporte público en los municipios del entorno de Zaragoza es considerablemente más baja, y también presenta una significativa variabilidad. En los casos más favorables, algunos municipios de la primera corona metropolitana pueden contar con un grado de acceso calificado de bueno, pero esta situación empeora rápidamente de modo que la mayoría de las localidades del área se caracterizan por presentar niveles deficientes o muy deficientes.

En estos casos, los habitantes de estos espacios se ven doblemente afectados, por un lado, experimentan un bajo nivel promedio de accesibilidad debido a los largos tiempos de espera hasta el siguiente servicio, y por otro, lidian con altas variaciones en estos niveles a lo largo del día, resultado de la limitada disponibilidad de viajes. Este doble impacto ha sido también descrito por Farber et al., (2014) en sus investigaciones. El índice utilizado para calcular la accesibilidad en esta tesis doctoral es sensible a las oscilaciones temporales de la misma y, en consecuencia, sus resultados son bajos cuando la variabilidad es alta.

El fuerte contraste en los grados de acceso entre Zaragoza y su entorno se atribuye en parte a la marcada disparidad en la densidad demográfica entre ambas zonas. Es relevante señalar que el área metropolitana de Zaragoza tiene una de las densidades de población más bajas de España. A pesar de esta diferencia, se sostiene que los servicios de transporte público que operan en estas áreas están claramente infradotados.

Como resultado, la población no motorizada de este espacio carece de un acceso adecuado y continuo al empleo y los servicios. Dado que tienen pocas opciones para desplazarse de forma independiente utilizando medios de transporte motorizados, es probable que muchos de estos residentes experimenten situaciones de “pobreza de transporte”. Además, es posible que una parte de esta población corra el riesgo de sufrir exclusión social debido a estas limitaciones en su movilidad.

No obstante, el elevado peso de la población residente en la ciudad de Zaragoza, que concentra a un 85% del total del área, disminuye la cantidad de personas afectadas por niveles bajos de accesibilidad. Específicamente, el 86,4% de la población vive en áreas con un grado de acceso que se considera bueno, muy bueno o excelente. En contraste, un 4,5% reside en zonas con un nivel calificado como deficiente, mientras que un 5,4% se encuentra en áreas clasificadas como muy deficientes.

Esta dualidad se replica también en el caso de la población vulnerable, definida como aquella mayor de 65 años o con ingresos significativamente inferiores al promedio. En este caso, la distribución es ligeramente más favorable, ya que estos residentes se concentran en mayor medida en los barrios tradicionales de la ciudad de Zaragoza, los cuales cuentan con niveles elevados de accesibilidad.

La estructura del área metropolitana, con una elevada concentración en la ciudad central, está mitigando considerablemente los problemas de accesibilidad en transporte

público en la región, de modo que, aunque estos problemas afectan a una amplia extensión geográfica, solo impactan a una proporción reducida de la población.

En cuanto al grado de acceso a los servicios sanitarios y la educación superior estos resaltan de nuevo la dicotomía entre Zaragoza y su entorno, así como la elevada concentración de la población en los espacios con mejores niveles de accesibilidad. Sin embargo, se evidencia que una distribución periférica de algunos equipamientos, como es el caso del Hospital Royo Villanova o el Campus Río Ebro, conlleva una disminución en la facilidad de acceso en transporte público incluso en zonas con una distribución poblacional compacta, como es el caso de Zaragoza.

Los tiempos totales de viaje mediante transporte público exceden aquellos asociados al uso del vehículo particular en la totalidad del área objeto de estudio. A pesar de esta disparidad, el transporte colectivo aún mantiene su competitividad en cuanto a la duración de los trayectos dentro del perímetro urbano de Zaragoza. Se puede inferir, por tanto, que en este ámbito, la población no motorizada no experimenta desventajas significativas y disfruta de un nivel de accesibilidad equiparable al del resto de ciudadanos.

Por el contrario, en el entorno metropolitano estas discrepancias son considerablemente más marcadas, particularmente en los municipios ubicados en la segunda corona, donde se evidencian incrementos sustanciales en los tiempos de viaje en transporte público. En toda esta región, la accesibilidad para aquellos que no utilizan vehículos motorizados es notablemente inferior en comparación con aquellos que tienen acceso a un vehículo. Esta circunstancia resalta la urgente necesidad de mejorar el servicio de autobús en el este espacio.

Las características del servicio de transporte colectivo que favorecen los elevados niveles de accesibilidad en la ciudad de Zaragoza son: una amplia cobertura territorial, un extenso número de rutas de transporte, una alta frecuencia de servicios y una consistente regularidad en los intervalos de paso a lo largo de todo el horario de operación. Las mejoras sugeridas para esta red se alinean con la planificación actual. Por un lado, se recomienda la expansión de una red troncal de corredores de alta capacidad para consolidar el modelo establecido por la línea 1 del tranvía. Por otro lado, se proponen algunas mejoras en las conexiones desde estas líneas troncales hasta los nuevos desarrollos urbanos.

La uniformidad en los intervalos de frecuencia entre salidas juega un papel crucial en la mejora de la accesibilidad en transporte público de las localidades del área

metropolitana. Una mayor regularidad implica que las fluctuaciones en la accesibilidad serán más homogéneas y menos pronunciadas, disminuyendo los tiempos máximos de espera.

Considerando esto, se sugiere la implementación de horarios con intervalos regulares en las principales líneas de transporte del entorno metropolitano. Para lograrlo, sería necesario un aumento moderado en el número de expediciones, lo cual tendría un doble impacto positivo en la accesibilidad, al mejorar los valores promedio de duración del viaje y reducir las variaciones temporales a lo largo del día.

En síntesis, la mayoría de la población del área de estudio presenta un nivel satisfactorio de accesibilidad en transporte público, si bien existe una fuerte variabilidad espacial en estos niveles, de forma que muchos municipios del área metropolitana presentan un grado de acceso deficiente. Con el fin de promover la equidad y evitar la exclusión social se propone mejorar el sistema de transporte metropolitano mediante la implementación de horarios regulares en las principales líneas. De este modo, se lograrán niveles de acceso adecuados y equitativos tanto en Zaragoza como en su entorno.

Capítulo 8. Referencias

- Allen, J., & Farber, S. (2020). Planning transport for social inclusion: An accessibility-activity participation approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 78, 102212. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102212>
- Alonso, J. (2024, febrero 2). La reordenación y mejora de las líneas de autobús de Aragón se aplicará por fases a partir de abril. *Heraldo de Aragón*, 3.
- Amin, A., & Thrift, N. (2002). *Cities: Reimagining the Urban*. Polity Press.
- Aparicio, Á. (2023). Lessons on transport equity from the CIVITAS ECCENTRIC project: Results in Madrid. *Transportation Research Procedia*, 72, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.383>
- AVANZA Zaragoza. (2020a). *Líneas y horarios*. Líneas y horarios. <https://zaragoza.avanzagrupo.com/lineas-y-horarios/>
- AVANZA Zaragoza. (2020b). *Líneas y tiempos*. Avanza Zaragoza. http://zaragoza.avanzagrupo.com/frm_esquemaparas.php
- AVANZA Zaragoza. (2022). *Mapa de líneas* [Map]. <https://zaragoza.avanzagrupo.com/mapa-de-lineas/>
- Ayuntamiento de Zaragoza. (2007). *Memoria Expositiva PGOU Zaragoza* [Plan General de Ordenación Urbana]. Ayuntamiento de Zaragoza. <http://www.zaragoza.es/ciudad/urbanismo/planeamiento/pgouz/memoria.htm>
- Ayuntamiento de Zaragoza. (2018a). *Demografía*. Demografía - Ayuntamiento de Zaragoza. <http://demografia.zaragoza.es/>
- Ayuntamiento de Zaragoza. (2018b). *Revisión del Plan de Movilidad Urbana Sostenible del Municipio de Zaragoza. Diagnóstico* [Plan de Movilidad Urbana Sostenible]. Ayuntamiento de Zaragoza.

- Ayuntamiento de Zaragoza. (2019). *Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Zaragoza: Memoria de propuestas: Transporte Colectivo* (Plan de Movilidad Urbana Sostenible Tomo 11; p. 81). Ayuntamiento de Zaragoza.
<https://www.zaragoza.es/sede/portal/movilidad/plan-movilidad/#docu>
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73-80.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>
- Bok, J., & Kwon, Y. (2016). Comparable Measures of Accessibility to Public Transport Using the General Transit Feed Specification. *Sustainability*, 8(3), 224.
<https://doi.org/10.3390/su8030224>
- Bokhari, A., & Sharifi, F. (2022). Public transport and subjective well-being in the just city: A scoping review. *Journal of Transport & Health*, 25, 101372.
<https://doi.org/10.1016/j.jth.2022.101372>
- Calvo Palacios, J. L., Pueyo Campos, Á., & Zúñiga Antón, M. (2014). La ciudad de Zaragoza en un escenario de crisis: Diagnóstico y propuestas territoriales para nuevos paradigmas urbanos. *Geographicalia*, 59-60, 47.
https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.201159-60821
- Cebollada, Á., & Avellaneda, P. (2008). Equidad social en movilidad: Reflexiones entorno a los casos de Barcelona y Lima. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, XII(270 (47)). <https://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-270/sn-270-47.htm>
- Centro Nacional de Información Geográfica. (2020). *Redes de transporte: Zaragoza* [..Shp]. <https://doi.org/>.
- Cervero, R. (2013). Vincular el transporte urbano y el uso del suelo en los países en desarrollo. *Revista de transporte y uso de suelo. Revista de transporte y uso de suelo*, 6(1), 7-24.

- Chidambaram, B. (2022). TRAWEL: A Transportation and Wellbeing Conceptual Framework for Broadening the Understanding of Quality of Life. En *Quantifying Quality of Life. Incorporating Daily Life into Medicine* (pp. 553-581). Springer.
- Cich, G., Vuurstaek, J., Knapen, L., Yasar, A.-U.-H., Bellemans, T., & Janssens, D. (2016). Data Preparation to Simulate Public Transport in Micro-Simulations Using OSM and GTFS. *Procedia Computer Science*, 83, 50-57.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.098>
- Coeymans Avaria, J. E. (2004). El transporte, la congestión y las grandes ciudades. En P. Tupper (Ed.), *Hacer ciudad* (p. 247). Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Consortio de Transportes del Área de Zaragoza. (2020). *Acceso a API Consortio de Transportes de Zaragoza*. Open Data | consorciodezaragoza.es.
<https://www.consortiozaragoza.es/content/open-data>
- Consortio de Transportes del Área de Zaragoza. (2022). *Sobre el Consortio*.
<https://www.consortiozaragoza.es/content/sobre-el-consorcio>
- Consortio de Transportes del Área de Zaragoza. (2023). *Estadísticas del Transporte Público*. <http://www.consortiozaragoza.es/content/estad%C3%ADsticas-del-transporte-p%C3%ABblico>
- Consortio de Transportes del Área de Zaragoza, Diputación General de Aragón, Diputación Provincial de Zaragoza, & Ayuntamiento de Zaragoza. (2016). *Directrices Metropolitanas de Movilidad de Zaragoza. Tomo II* (p. 220).
- Cooper, C. (2021). *Spatial Design Network Analysis (sDNA) version 4.1 Manual*. Cardiff University. https://sdna.cardiff.ac.uk/sdna/wp-content/downloads/documentation/manual/sDNA_manual_v4_1_0/

- Cooper, C., & Chiaradia, A. J. F. (2020). *3-d spatial network analysis for GIS, CAD*, (SoftwareX 12, 100525.) [Command Line & Python.].
<https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100525>
- Currie, G., & Delbosc, A. (2010). Modelling the social and psychological impacts of transport disadvantage. *Transportation*, 37(6), 953-966.
<https://doi.org/10.1007/s11116-010-9280-2>
- Currie, G., & Senbergs, Z. (2007). *Exploring forced car ownership in metropolitan Melbourne*. Australian Transport Research Forum 2007.
- Curtis, C. (2008). Planning for sustainable accessibility: The implementation challenge. *Transport Policy*, 15(2), 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.003>
- De Miguel González, R. (2014). Metamorfosis Urbana en Zaragoza. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales.*, 19(1083), 27.
- Departamento de Vertebración del Territorio, Movilidad y Vivienda: Gobierno de Aragón. (2021). *Proyecto del servicio de transporte público de viajeros por carretera de Aragón*. <https://www.aragon.es/-/nuevo-mapa-concesional>
- Di Ciommo, F., & Shiftan, Y. (2017). Transport equity analysis. *Transport Reviews*, 37(2), 139-151. <https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1278647>
- Djurhuus, S., Sten Hansen, H., Aadahl, M., & Glümer, C. (2016). Building a multimodal network and determining individual accessibility by public transportation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(1), 210-227.
<https://doi.org/10.1177/0265813515602594>
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2021a). *Crear y utilizar un dataset de red con datos de transporte público*. Ayuda de ArcGISPro.
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/networks/create-and-use-a-network-dataset-with-public-transit-data.htm#>

- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2021b). *Evaluador de transporte público*. Ayuda de ArcGISPro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/networks/public-transit-evaluator.htm#>
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2021c). *Modelo de datos de transporte público de Network Analyst*. Ayuda de ArcGISPro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/networks/transit-data-model.htm>
- Escolano-Utrilla, S., López-Escolano, C., & Pueyo-Campos, Á. (2018). Urbanismo neoliberal y fragmentación urbana: El caso de Zaragoza (España) en los primeros quince años del siglo XXI. *EURE (Santiago)*, 44(132), 185-212.
<https://doi.org/10.4067/s0250-71612018000200185>
- Escudero, N. (2013). Movilidad sustentable eje estructurante de la nueva política nacional de desarrollo urbano. En *Chile urbano hacia el siglo XXI. Investigaciones y reflexiones de Política Urbana desde la Universidad de Chile* (p. 300). Editorial Universitaria.
- ESRI. (2021). *Understanding connectivity*. Understanding Conectivity.
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/network-analyst/understanding-connectivity.htm>
- Farber, S., & Fu, L. (2017). Dynamic public transit accessibility using travel time cubes: Comparing the effects of infrastructure (dis)investments over time. *Computers, Environment and Urban Systems*, 62, 30-40.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.10.005>
- Farber, S., Morang, M. Z., & Widener, M. J. (2014). Temporal variability in transit-based accessibility to supermarkets. *Applied Geography*, 53, 149-159.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.06.012>

- Fariña Tojo, J., & Naredo, J. M. (2010). *Libro Blanco de la Sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español*. Centro de publicaciones del Ministerio de la Vivienda. <https://www.mivau.gob.es/vivienda/actividades-servicios/estudios-y-publicaciones/libro-blanco-de-la-sostenibilidad-en-el-planeamiento-urbanistico-espanol>
- Faus Pujol, M. C. (1978). El ferrocarril y la evolución urbana de Zaragoza. *Geographicalia*, 2, 83-114.
- Felício, S., Hora, J., Ferreira, M. C., Abrantes, D., Costa, P. D., Dangelo, C., Silva, J., & Galvão, T. (2022). Handling OpenStreetMap georeferenced data for route planning. *Transportation Research Procedia*, 62, 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.024>
- Fielbaum, A., Jara-Diaz, S., & Gschwender, A. (2017). A Parametric Description of Cities for the Normative Analysis of Transport Systems. *Networks and Spatial Economics*, 17(2), 343-365. <https://doi.org/10.1007/s11067-016-9329-7>
- Fransen, K., Neutens, T., Farber, S., De Maeyer, P., Deruyter, G., & Witlox, F. (2015). Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels. *Journal of Transport Geography*, 48, 176-187. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.09.008>
- Geofabrik GmbH Karlsruhe. (2019, marzo). *Geofabrik*. Geofabrik // Downloads. <https://www.geofabrik.de/data/download.html>
- Geurs, K. T., & Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127-140.
- Gobierno de Aragón. (2020). *Transporte público interurbano de viajeros por carretera en Aragón* [dataset]. Aragón Open Data.

<https://opendata.aragon.es/datos/catalogo/dataset/transporte-publico-interurbano-de-viajeros-por-carretera-en-aragon>

Gobierno de Aragón. (2021). *Instalaciones Sanitarias* [dataset]. Aragón Open Data.

<https://opendata.aragon.es/datos/catalogo/dataset/sanidad>

Google. (2019). *Servicio Matriz de Distancia*. Distance Matrix: API de Maps JavaScript.

https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/distancematrix?hl=es#distance_matrix_status_codes

Google Transit. (2021). *Descripción general de GTFS estáticas*. Descripción general de GTFS estáticas. <https://developers.google.com/transit/gtfs>

Guthrie, A., Fan, Y., & Das, K. V. (2017). Accessibility Scenario Analysis of a Hypothetical Future Transit Network: Social Equity Implications of a General Transit Feed Specification–Based Sketch Planning Tool. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2671(1), 1-9.

<https://doi.org/10.3141/2671-01>

Gutiérrez, A. (2012). Qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 21(2), 61-74.

Gutiérrez-Gallego, J. A., & Pérez-Pintor, J. M. (2019). Movilidad Urbana Sostenible en Ciudades Medias. El Caso del Campus de Cáceres. *Revista de Estudios Andaluces*, 37, 125-140. <https://doi.org/10.12795/rea.2019.i37.06>

Instituto Aragonés de Estadística. (2019). *Nomenclátor: Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional*. Instituto Aragonés de Estadística.

<https://www.ine.es/nomen2/index.do>

Instituto Nacional de Estadística. (2020a). *Atlas de distribución de la renta de los hogares.*

Indicadores de renta media y mediana.

<https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=31277&L=0>

Instituto Nacional de Estadística. (2020b). *Nomenclátor: Población del Padrón Continuo por unidad p.* INEBase: Demografía y Población.

https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736177010&menu=resultados&idp=1254734710990

Instituto Nacional de Estadística. (2023). *Glosario de conceptos.* Glosario de conceptos.

<https://www.ine.es/DEFIne/es/concepto.htm?c=5032&op=30453&p=1&n=20>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2006). *PMUS: Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible.*

International Energy Agency. (2018). *World energy balances* [dataset]. IEA World Energy Statistics and Balances. <https://doi.org/10.1787/data-00512-en>

Jirón, P. (2013). Más allá del transporte. La experiencia de la ciudad desde la movilidad cotidiana. En *Chile urbano hacia el siglo XXI. Investigaciones y reflexiones de Política Urbana desde la Universidad de Chile* (p. 300). Editorial Universitaria.

Kujala, R., Weckstrom, C., Darst, R. K., Mladenovic, M. N., & Saramaki, J. (2018). A collection of public transport network data sets for 25 cities. *Scientific Data*, 5, 180089. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.89>

Lee, J., & Miller, H. J. (2018). Measuring the impacts of new public transit services on space-time accessibility: An analysis of transit system redesign and new bus rapid transit in Columbus, Ohio, USA. *Applied Geography*, 93, 47-63.

<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.012>

- Lee, R. J., Sener, I. N., & Jones, S. N. (2017). Understanding the role of equity in active transportation planning in the United States. *Transport Reviews*, 37(2), 211-226. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1239660>
- Levy, N., Golani, C., & Ben-Elia, E. (2019). An exploratory study of spatial patterns of cycling in Tel Aviv using passively generated bike-sharing data. *Journal of Transport Geography*, 76, 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.10.005>
- Litman, T. (2002). Evaluating transportation equity. *World Transport Policy & Practice*, 8(2), 50-65.
- Liu, L., & Miller, H. J. (2022). Measuring the impacts of dockless micro-mobility services on public transit accessibility. *Computers, Environment and Urban Systems*, 98, 101885. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101885>
- López, D. (2024, febrero 3). Los regionales y el Cercanías logran un 2023 histórico en Aragón. *El periódico de Aragón*.
- López, M.-J., Aón, L.-C., Giglio, M.-L., Freaza, N., & Cola, C. (2019). El viaje como barrera: Diferencias y complejidades en el acceso a centros de salud en la ciudad de La Plata. *EURE (Santiago)*, 45(134), 53-76. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000100053>
- Lostal Pros, J., & Anson Navarro, A. (2002). *Historia de cuatro ciudades: Salduie, Caesaraugusta, Saraqusta y Zaragoza*. (Ayuntamiento de Zaragoza y Caja Inmaculada). Ayuntamiento de Zaragoza.
- Lucas, K. (2012). Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport Policy*, 20, 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.013>
- Lucas, K., Bates, J., Moore, J., & Carrasco, J. A. (2016). Modelling the relationship between travel behaviours and social disadvantage. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 157-173. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.008>

- Mahajan, V., Kuehnel, N., Intzevidou, A., Cantelmo, G., Moeckel, R., & Antoniou, C. (2022). Data to the people: A review of public and proprietary data for transport models. *Transport Reviews*, 42(4), 415-440. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1977414>
- Martens, K. (2016). *Transport Justice Designing fair transportation systems* (1º). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315746852>
- Martín, L., Calvo, F., Hermoso, A., & de Oña, J. (2014). Analysis of Light Rail Systems in Spain According to Their Type of Funding. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 162, 419-428. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.223>
- Mataix González, C. (2010). *Movilidad Urbana Sostenible: Un reto energético y ambiental*. <https://www.fenercom.com/publicacion/movilidad-urbana-sostenible-un-reto-energetico-y-ambiental-2010/>
- McHugh, B. (2013). Pioneering Open Data Standards: The GTFS Story. En B. Goldstein (Ed.), *Beyond Transparency—Open Data and Future of Civic Innovation*.
- Mehndiratta, S., Zegras, C., Webb, K., & Ochoa, M. C. (2014). Applying the General Transit Feed Specification to the Global South: Experiences in Mexico City, Mexico—and Beyond. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2442(1), 44-52. <https://doi.org/10.3141/2442-06>
- Mercadé Aloy, J., Magrinyà Torner, F., & Cervera Alonso De Medina, M. (2020). Revelando las centralidades del transporte público mediante SIG y GTFS: Una propuesta de reequilibrio urbano para el Área Metropolitana de Barcelona. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 25, 27-46. <https://doi.org/10.21138/GF.657>

- Ministerio de Fomento. (2018). *Áreas urbanas en España 2018. Constitución, Cuarenta años de las ciudades españolas*. Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento.
- Ministerio de Fomento, & Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2009). *Estrategia Española de Movilidad Sostenible*.
https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/estrategia_esp_movilidad.html
- Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (2019). *Agenda Urbana Española*.
<https://www.aue.gob.es/que-es-la-aue#inicio>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2019). *Observatorio de la movilidad metropolitana* (p. 107). <http://www.observatoriomovilidad.es/>
- Miralles-Guasch, C., & Cebollada, Á. (2009). Movilidad cotidiana y sostenibilidad. Una interpretación desde la Geografía Humana. *Boletín de la A.G.E.*, 50, 193-216.
- Miralles-Guasch, C., Cebollada, Á., & Requena, R. (2013). Estrategias de participación ciudadana en la gestión de la movilidad y el transporte. La universidad autónoma de Barcelona como ejemplo. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, XIV(331 (39)), 13.
- Mobility Data. (2020). *Referencia General Transit Feed Specification*. GTFS Schedule Reference. <https://gtfs.org/schedule/reference/>
- Morang, M. (2021a). *Transit Network Analysis Tools*. Public Transit Tools. Transit Network Analysis Tools User's Guide
- Morang, M. (2021b). *Transit Network Analysis Tools (0.1.0)* [Windows]. ESRI.
<https://github.com/Esri/public-transit-tools/tree/master/transit-network-analysis-tools>

- Navarro Ferrer, A. M. (1962). *Geografía Urbana de Zaragoza*. Librería General de Zaragoza.
- Nikulina, V., Simon, D., Ny, H., & Baumann, H. (2019). Context-Adapted Urban Planning for Rapid Transitioning of Personal Mobility towards Sustainability: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 11(4), 1007. <https://doi.org/10.3390/su11041007>
- OpenStreetMap Contributors. (2019, marzo). *OpenStreetMap*. https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page. <https://www.openstreetmap.org>
- OpenStreetMap Wiki*. (2019, marzo). Wiki - OpenStreetMap.
- Organización Naciones Unidas. (2021). *La Nueva Agenda Urbana Ilustrada en Español*. 175.
- Park, J., & Goldberg, D. W. (2021). A Review of Recent Spatial Accessibility Studies That Benefitted from Advanced Geospatial Information: Multimodal Transportation and Spatiotemporal Disaggregation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 532. <https://doi.org/10.3390/ijgi10080532>
- Peña Gonzalvo, F. J., & Valero Suárez, J. M. (1986). *Los Tranvías de Zaragoza (2º)*. Diputación Provincial de Zaragoza.
- Pereira, R. H. M., Schwanen, T., & Banister, D. (2017). Distributive justice and equity in transportation. *Transport Reviews*, 37(2), 170-191. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1257660>
- Preston, J., & Rajé, F. (2007). Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of Transport Geography*, 15(3), 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.05.002>
- Pueyo Campos, Á. (2020). *Cátedra de Territorio, Sociedad y Visualización Geográfica* [Inéditos].

- Python Software Foundation. (2019). *Documentación de Python*.
<https://docs.python.org/es/3/>
- Renfe Operadora. (2020a). *Horarios cercanías* [dataset]. Renfe Data.
<https://data.renfe.com/dataset/horarios-cercanias>
- Renfe Operadora. (2020b). *Horarios de alta velocidad, larga distancia y media distancia* [dataset]. Renfe Data. <https://data.renfe.com/dataset/horarios-de-alta-velocidad-larga-distancia-y-media-distancia>
- Rodnyansky, S. (2018). Do It Yourself: Obtaining Updated Transit Stop and Route Shapefiles in Urban and Nonurban Areas. *Cityscape: A Journal of Policy Development and Research*, 20(1), 205-214.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2013). *The geography of transport systems* (Third edition). Routledge.
- Sánchez Degano, Y. (1996). Interpretación del hecho metropolitano en Zaragoza. *Geographicalia*, 33, 187. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1996331717
- Seguí Pons, J. M., & Martínez Reynés, M. R. (2004). *Geografía de los transportes*. Universidad de las Islas Baleares. Servicio de publicacioens.
- Sheller, M. (2018). Theorising mobility justice. *Tempo Social*, 30(2), 17-34.
<https://doi.org/10.11606/0103-2070.ts.2018.142763>
- Solé-Ribalta, A., Gómez, S., & Arenas, A. (2017). La física de la congestión de tráfico. *Revista española de física*, 31(2), 7.
- Stanley, J., & Stanley, J. (2017). The Importance of Transport for Social Inclusion. *Social Inclusion*, 5(4), 108-115. <https://doi.org/10.17645/si.v5i4.1289>
- Stępniaak, M., & Goliszek, S. (2017). Spatio-Temporal Variation of Accessibility by Public Transport—The Equity Perspective. En I. Ivan, A. Singleton, J. Horák, & T.

- Inspektor (Eds.), *The Rise of Big Spatial Data* (pp. 241-261). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45123-7_18
- Sultana, S., Salon, D., & Kuby, M. (2019). Transportation sustainability in the urban context: A comprehensive review. *Urban Geography*, 40(3), 279-308. <https://doi.org/10.1080/02723638.2017.1395635>
- Transitfeed* (1.2.16). (2020). [Python; Windows]. <https://github.com/google/transitfeed>
- Tranvías de Zaragoza. (s. f.). *Nuestra Línea*. Tranvía de Zaragoza - Nuestra Línea. Recuperado 3 de marzo de 2020, de <https://www.tranviasdezaragoza.es/es/informacion/nuestra-linea>
- Tranvías de Zaragoza. (2020). *Tranvía de Zaragoza—Horarios*. Tranvía de Zaragoza - Horarios. <https://www.tranviasdezaragoza.es/es/informacion/horaires>
- Universidad de Zaragoza. (2023). *Estudiantes matriculados por provincias y centros*. <https://academico.unizar.es/grado-y-master/estadisticas>
- Wan, Z., & Titheridge, H. (2024). Socially sustainable transport in the context of different-sized cities in China: Conceptualisation and operationalisation of equity. *Journal of Transport Geography*, 115, 103816. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103816>
- Weckström, C., & Mladenović, M. N. (2020). Evaluation of public transport policy formulation and implementation: Case study of 24 mid-sized Nordic cities. *Transportation Research Procedia*, 45, 979-986. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.068>
- Wilches Astudillo, C. A., Jaramillo, C., & Murillo-Hoyos, J. (2021). Accesibilidad y equidad espacial al transporte público para pacientes con enfermedad neurodegenerativa en Santiago de Cali, Colombia. *Investigaciones Geográficas*, 76, 179. <https://doi.org/10.14198/INGEO.17589>

Williams, S., White, A., Waiganjo, P., Orwa, D., & Klopp, J. (2015). The digital matatu project: Using cell phones to create an open source data for Nairobi's semi-formal bus system. *Journal of Transport Geography*, 49, 39-51.

<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.10.005>

Willumsen, L. G., & Lillo, E. (2005). Bus Rapid Transport and Urban Development.

Proceedings of the 24th Southern African Transport Conference (SATC 2005), 706-716.

Apéndice A Tipología y frecuencias de las líneas de transporte urbano

Tabla A.1: Líneas de transporte urbano diurno, tipología y frecuencias.

<i>Líneas</i>	<i>Tipo de recorrido</i>	<i>Frecuencia Laborable (minutos)</i>	<i>Frecuencia Sábados</i>	<i>Frecuencia Domingos y Festivos</i>
Tranvía	Diametral	5-7'	8-10'	12-15'
21	Diametral	7'	9'	10'
22	Diametral	8'	10'	11'
23	Diametral	7'	9'	11'
24	Transversal-Ortogonal	6'	8'	10'
25	Radial	9'	13'	13'
28	Radial	30'	30'	30'
29	Radial	9'	14'	14'
30	Radial	9'	10'	10'
31	Transversal	11'	12'	15'
32	Diametral	7'	11'	13'
33	Diametral	6'	7'	8'
34	Diametral	6'	10'	11'
35	Diametral	7'	9'	10'
36	Transversal-Ortogonal	10'	13'	16'
38	Diametral	7'	9'	12'
39	Diametral	5'	7'	9'
40	Radial	7'	8'	9'
41	Radial	15'	20'	20'
42	Transversal-Ortogonal	7'	11'	12'
43	Barrio	30'	30'	30'
44	Transversal-Ortogonal	11'	17'	17'
50	Transversal	30'	30'	30'
51	Diametral	11'	12'	11'
52	Radial	10'	14'	13'
53	Transversal	8'	10'	14'
54	Lanzadera tranvía	10'	11'	15'
55	Lanzadera tranvía	8'	9'	16'
56	Lanzadera tranvía	20'	20'	20'
57	Lanzadera tranvía	7'	7'	13'
58	Lanzadera tranvía	30'	30'	30'
59	Lanzadera tranvía	15-30'	30'	30'
60	Radial	10'	24'	26'
C1	Barrio	15'	15'	15'
C4	Transversal	15'	15'	30'
Ci1	Circular	8'	10'	12'
Ci2	Circular	8'	10'	11'

Fuentes: AVANZA Zaragoza (2020b); Ayuntamiento de Zaragoza (2019, p. 8); Tranvías de Zaragoza (2020). Elaboración propia.

Tabla A.2: Principales características de las líneas de autobús urbano nocturne según tipología .

<i>Líneas</i>	<i>Tipo de recorrido</i>	<i>Frecuencia</i>
N1	Radial	45'
N2	Radial	30'
N3	Radial	30'
N4	Radial	30'
N5	Radial	45'
N6	Diametral	90'
N7	Radial	90'

Fuentes: AVANZA Zaragoza (2020b); Ayuntamiento de Zaragoza (2019, p. 8); Tranvías de Zaragoza, (2020). Elaboración propia.

Apéndice B Programas desarrollados en Python para la obtención de datos de transporte público

Líneas.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# Este script obtiene información de la API del Consorcio de
transportes
# del área de Zaragoza y la escribe en un archivo route.txt del
estándar GTFS.
# Note: This script only supports one agency at a time

import io, requests

# Variables de entornos

routestxt =
'C:/Users/Usuario/Documents/Tesis/6_Analisis_de_datos/62_scripts_consortio/GTFS_CTAAZ_LV_03_2021/routes.txt' # Path for routes.txt
codeagency = u'1' # Identificador del CTAZ en agency.txt

# Escribir información de la API en un diccionario Python.
r = requests.get('http://api.consortiozaragoza.es/api/1/lines')
j = r.json()

# Itera a través de las líneas del diccionario obteniendo los
diferentes atributos y los escribe en routes.txt
with io.open(routestxt, 'w') as d:

d.write(u'route_id,agency_id,route_short_name,route_long_name,route_type
\n') # write headings of GTFS document
    for line in j['lines']:
        line_id = line['id']
        agency_id = codeagency
        line_idlinea = line['id_linea']
        line_name_es = line['name']
        line_name = line_name_es.encode("ascii", "replace") #
eliminating non-ascii characters
        e = line_id + u',' + agency_id + u',' + line_idlinea +
u',' + line_name + u',3\n'
        d.write(e)
```

paradas.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# Este código obtiene información de paradas de la API del Consorcio de
# Transportes
# del área de Zaragoza y la escribe en un archivo stops.txt del estándar
# GTFS.

# Variables de entorno
import requests, io
stopstxt =
'C:/Users/Usuario/Documents/Tesis/6_Analisis_de_datos/62_scripts_consortio/GTFS_CTAZ_LV_03_2021/stops.txt' # Path to stops.txt document

# Obtener datos de paradas de la API y guardarlos en un diccionario
Python
r = requests.get('http://api.consortiozaragoza.es/api/1/stops')
j = r.json()

# Itera a través de todas las paradas recogidas en el diccionario y
# obtiene los diferentes atributos
# atributos y los escribe en el documento stops.txt
with io.open(stopstxt, 'w') as d:
    d.write(u'stop_id,stop_name,stop_lat,stop_lon\n')
    for stop in j['stops']:
        stop_id = stop['stop_id']
        stop_name = stop['stop_name']
        stop_lat = stop['stop_lat']
        stop_lon = stop['stop_lon']
        stop_name_u = stop_name.encode('ascii', 'replace') #
        e = stop_id.zfill(3) + u',' + stop_name_u + u',' + stop_lat +
u',' + stop_lon + u'\n'
        d.write(e)
        print stop_name_u
```

viajes.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# Este programa toma información de expediciones de la API del Consorcio de
transportes
# del área de Zaragoza y la escribe en un archivo trips.txt del estándar
GTFS.

import io, requests, os

# Variables de entorno
dia_semana = 'L-V' # Identificador service_id
assert dia_semana in ['L-V', 'S', 'D-F']
mode = 'r+' # Modo de apertura del fichero
assert mode in ['a', 'w', 'r+']

path =
'C:/Users/Usuario/Documents/Tesis/6_Analisis_de_datos/62_scripts_consortio/G
TFS_CTAZ_LV_03_2021/' # Path of the directory of the file.

# Primeramente, obtenemos todas las líneas del CTAZ de la API y las
guardamos
linesAnswer =
requests.get('http://api.consortiozaragoza.es/api/1/lines').json()

lstLines = [str(line['id']) for line in linesAnswer['lines']]

# A continuación se iteran a través de la lista de IDs de línea solicitando
a la API
# información sobre las diferentes líneas

trip_id = 0 # Iniciamos la lista trip_id

trips_intermediate = set()

for lineid in lstLines: # Solicitamos información a la función routes de la
API para una línea concreta
    routesAnswer =
requests.get('http://api.consortiozaragoza.es/api/1/routes/'+lineid).json()
    print ('Starting' + lineid)

    trips = routesAnswer['routes']
    if trips != None: # Si hay información en el diccionario routesAnswer
itera sobre el
        for trip in trips: # recorre a través de los viajes del diccionario
routesAnswer
            trip_id = trip['route']
            trip_name_es = trip['name'] # Contiene caracteres especiales
            trip_name = trip_name_es.encode('ascii', 'replace').decode("utf-
8") # Eliminando caracteres no ascii
            direction = trip['isreturn']
            trip_id = lineid.zfill(2) + trip_id.zfill(2) + direction
            unique_trip = (lineid,dia_semana,trip_id,trip_name,direction)
            if unique_trip not in trips_intermediate:
                trips_intermediate.add(unique_trip)

## Finalmente, escribimos toda la información en el archivo trips.txt
with io.open(path+'trips.txt', mode) as gtfsdoc:

gtfsdoc.write(u'route_id,service_id,trip_id,trip_short_name,direction_id\n')
    for trip in trips_intermediate:
        line = ",".join(trip)+'\n'
        print (line)
        gtfsdoc.write(line)
```

tiempos_parada.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# Este script obtiene información de tiempos de parada de la función
time_routes de la API del
# Consorcio de Transportes del área de Zaragoza y la escribe en un
archivo GTFS stop_times.txt.

import io, requests, sys

path =
"C:/Users/Usuario/Documents/Tesis/6_Analisis_de_datos/62_scripts_consortorio/GTFS_CTAZ_LV_03_2021/" # Path to stop times file
mode = 'w'
assert mode in ['a', 'w', 'r+']
unknown_bus = '0' # 0 es el valor requerido cuando no conocemos el
número del vehículo
# ya que se requiere como parametro de la función
time_routes

# Escritura de los encabezamientos del documento GTFS
with open(path+'stop_times.txt',mode) as outfile:
    headers =
'trip_id,arrival_time,departure_time,stop_id,stop_sequence\n'
    outfile.write(headers)

    # En primer lugar obtenemos los parámetros requeridos por la función
times_route
    # Obtenemos un diccionario Python con todos los identificadores de
líneas para obtener el 1º parametro
    lines_json =
requests.get("http://api.consortiozaragoza.es/api/1/lines").json()

    for line in lines_json['lines']: # Guardamos todos los lines IDS en
una lista
        idline = str(line['id'])
        print ('Line: ' + idline) # Primer argumento para la función
times_route

        # Utilizamos los IDs de línea para llamar a la función routes y
guardar el tiempo y la dirección (3º y 4º argumento)
        routes_json =
requests.get('http://api.consortiozaragoza.es/api/1/routes/'+idline).json()
        routes = routes_json['routes']

        if routes != None:
            for route in routes:
                direction = route['isreturn'] # Cuarto argumento de la
función times_routes
                routeid = route['route']
                print ('Line: ' + idline + ' Route: ' + routeid)

                # Convertimos el tiempo en segundos para el 3º argumento
de la función time_routes
                time = route['deptime']
                h,m,s = map(int,time.split(":"))
                time_secs = str(3600*h+60*m+s) # Tercer argumento de la
función times_routes

                # En segundo lugar: Se invoca la función times_route
con los siguientes parametros:
                # line id / bus / tiempo en segundos / dirección

                times_route_json =
requests.get('http://api.consortiozaragoza.es/api/1/times_route/%s/%s/%s/%s'
%(idline,unknown_bus,time_secs,direction)).json()
```

```
# Obtenemos la informacion requerida para el archivo
GTFS
for time in times_route_json['times_route']:
direction
my_trip_id = idline.zfill(2) + routeid.zfill(2) +
arrival_time = time['arrival_time']
departure_time = time['arrival_time'] # El tiempo de
salida se establece igual al de llegada
stop_id = time['code']
sequence_id = time['order']
e = my_trip_id + ',' + arrival_time + ',' +
departure_time + ',' + stop_id + ',' + sequence_id + '\n'
outfile.write(e) # Escribimos la información en el
archivo stop_times.txt
print (e)
```

Apéndice C Programa desarrollado en Python para la obtención de datos de tráfico

odmatrix_coche.py

```
import googlemaps
from datetime import datetime, timedelta
import time,sys, csv, random
from collections import defaultdict

def chunk(x,n): # Bloques para trabajar con partes pequeñas
    for i in range(0,len(x),n):
        yield x[i:i+n]

dtnow = datetime.now()
day = timedelta(days=1)
tomorrow = dtnow + day
tomorrow_10am = datetime(tomorrow.year, tomorrow.month, tomorrow.day, 8,
0, 0, 0)

gmaps = googlemaps.Client(key='') # clave para usar la API (borrada)

origins = [] # Lista para guardar origenes
for lat,long in csv.reader(open("origins.csv")): # archivo csv con
columnas de latitud y longitud
    origins += [(lat,long)]
print(origins)

destinations = [] # Lista para guardar destinos
for lat,long in csv.reader(open("destinations.csv")): # archivo csv de
destinos con columnas latitud y longitud
    destinations += [(lat,long)]
print(destinations)

elements = (len(origins)*len(destinations)) # Comprueba que no hay mas
de 2500 pares origen-destino
assert(elements<2500)

# Divide la matriz que queremos consultar en bloques de 25x4 para no
sobrepasar el limite de la API
origin_chunks = chunk(origins,25)

result = defaultdict(dict) # Creamos un nuevo a diccionario

for oc in origin_chunks: # Para cada origen ...
    destination_chunks = chunk(destinations,4)
    for dc in destination_chunks: # Para cada destino dentro de un
origen determinado invocamos a la funcion distance_matrix
        m =
gmaps.distance_matrix(origins=oc,destinations=dc,mode="driving",
departure_time=tomorrow_10am,traffic_model="best_guess")
        for i,p in enumerate(oc): # Recorremos la respuesta de la matriz
y obtenemos sus elementos
            for j,q in enumerate(dc):
                try:
                    element =
(m['rows'][i]['elements'][j]['duration']['value'],
m['rows'][i]['elements'][j]['duration_in_traffic']['value'])
                    result[p][q]=element
                except:
                    print(m['rows'][i]['elements'][j])
                    print("chunk!")
                    time.sleep(2)
                    print("big chunk!")
                    time.sleep(2)
```

```
outfile = open("google_odmatrix.csv","w")
for i,p in enumerate(origins):
    for j,q in enumerate(destinations):
        # Para cada par origen-destino escribe en mi documento la
        duracion y la duracion en trafico
        try:
            d,dt = result[p][q]
            print (i,j,d,dt)
            outfile.write("%d,%d,%d,%d\n"%(i,j,d,dt))
        except:
            pass
outfile.close()
```