



Universidad
Zaragoza



Facultad de
Filosofía y Letras
Universidad Zaragoza

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Ordenación Territorial y Medioambiental

Análisis de indicadores urbanos como base para la definición de las zonas de bajas emisiones.

Zaragoza como caso de estudio.

*Analysis of urban indicators as a basis for the definition of low
emission zones.*

Zaragoza as a case study.

Autora:

LOURDES PÉREZ LÓPEZ

Director:

Dr. MARCOS RODRIGUES MIMBRERO

Facultad de Filosofía y Letras

Noviembre 2022

Resumen

En los últimos años, nuestro modelo de desplazamiento ha priorizado el uso del vehículo privado. Como consecuencia, las ciudades han empeorado su calidad del aire llegando a niveles de riesgo para la salud. Desde Europa se ha tratado de establecer unas medidas que regulen las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyendo a mitigar los efectos del cambio climático. En España se han aprobado unas estrategias que trabajan en línea con las planteadas en Europa. Una de esas estrategias es la delimitación de zonas de bajas emisiones (ZBE). Ciudades como Madrid o Barcelona ya las han llevado a la práctica generando gran controversia. La falta de un documento general que las regule es una de las razones. Este Trabajo trata de dar solución a esta carencia a través del análisis de indicadores urbanos que puedan servir como base para la delimitación de las ZBE a nivel general. El estudio se ha realizado en Zaragoza por presentar características socioeconómicas que la convierten en un modelo extrapolable al resto de ciudades. Para ello, se han estudiados qué factores afectan por su naturaleza a la calidad del aire, utilizando para ello una metodología estadística que permita establecer relaciones entre ellos. De esta forma, se han obtenido como resultado la identificación de zonas que son susceptibles de ser reguladas y que corresponde actualmente con áreas con problemas de movilidad. Las ZBE deberán contar con un seguimiento de los indicadores urbanos para revisar su adecuación. Se plantea como desarrollo futuro a este trabajo el estudio de una metodología que ayude a establecer unas directrices generales de supervisión y seguimiento.

Palabras clave: **movilidad, zona de bajas emisiones, Zaragoza, ACP**

Abstract

In recent years, our mobility model has prioritized the use of the private vehicle. As a consequence, cities have worsened their air quality reaching levels of health risk. Europe has tried to establish measures to regulate greenhouse gas emissions, helping to mitigate the effect of climate change. In Spain some strategies have been approved that work in line with those proposed in Europe. One of these strategies is the delimitation of low emission zones (LEZ). Cities like Madrid or Barcelona have already put them into practice, generating great controversy. The lack of a general document that regulates what these zones should be like and what factors should be measured is one of the reasons. This master's Thesis tries to solve this lack through the analysis of urban indicators that can serve as a basis for the delimitation of the LEZ at a general level. The study has been carried out in Zaragoza because it presents socioeconomic characteristics that make it a model that can be extrapolated to other cities. To do this, the factors that by their nature affect air quality have been studied, using a statistical methodology that allows relationships to be established between them. In this way, the identification of areas that are likely to be regulated and that currently correspond to areas with mobility problems have been obtained. The LEZ must have a follow-up of the urban indicators to review their adequacy. The study of a methodology that helps to establish general guidelines for supervision and follow-up is proposed as a future development for this work.

Keywords: mobility, low zone emissions, Zaragoza, PCA

Índice

1. Introducción.....	5
2. Estado de la cuestión.....	5
3. Objetivos	9
4. Metodología y fuentes de información.....	11
I. Factores	12
II. Análisis de componentes principales (ACP)	13
5. Acotaciones a la investigación	14
6. Marco teórico.....	17
Normativa.....	17
I. Ley 7/2021 de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.....	17
II. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire....	19
III. Estrategia de descarbonización a largo plazo: 2050.....	20
Zonas de bajas emisiones (ZBE).....	21
I. Objetivos	21
II. Medidas para su implantación reequilibrando el modelo de movilidad.....	24
III. Coherencia de las ZBE con otros instrumentos existentes.....	25
IV. Regulación de accesos.....	26
Ejemplos de implantación de ZBE en ciudades españolas.....	28
Madrid 360	28
Barcelona ZBE	30
7. Características de la ZBE para una ciudad como Zaragoza.....	31
8. Resultados	32
Análisis estadísticos	32
Patrón de distribución espacial.....	34
9. Discusión	35
10. Conclusiones	40

11. Bibliografía	43
12. Índice de figuras, tablas y gráficos.....	45
Índice de figuras.....	45
Índice de tablas.....	46
Índice de gráficos	46
13. Anexos	47
Anexo 1. Estrategia de descarbonización a Largo Plazo.....	48
Anexo 2. Mapa de resultado del componente principal 1: Congestión de la circulación.....	49
Anexo 3. Mapa de resultado del componente principal 2: Puntos con problemas de circulación.	50
Anexo 4. Mapa de resultado del componente principal 3: Concentración de servicios para el vehículo.....	51
Anexo 5. Mapa de resultado del componente principal 4: Equipamientos educativos con accesibilidad sostenible.....	52
Anexo 6. Mapa de resultado del componente principal 5: Equipamientos educativos con accesibilidad limitada.....	53
Anexo 7. Mapa de resultado del componente principal 6: Equipamientos educativos con accesibilidad limitada.....	54
Anexo 8. Mapa de resultado del Índice de Susceptibilidad (IS).	55

1. Introducción

El presente trabajo de investigación se elabora durante los meses de junio de 2022 a noviembre de 2022. Su contenido es materia evaluable para la obtención del título de Máster en Ordenación Territorial y Medioambiental, 2021-2022.

La investigación planteada nace en el seno del grupo de investigación Arquitecturas OpenSource, grupo de investigación reconocido por el Gobierno de Aragón para el periodo 2020-2022 (S04 20D), del que la autora es miembro y que dirige la Dr. Ana Ruiz Varona, autora del encaje teórico que pretende dar sentido más amplio a la investigación. Es necesario subrayar el apoyo recibido por el resto de los miembros del equipo de investigación. Además, durante este periodo se ha contado con el seguimiento de Marcos Rodrigues como director del trabajo académico que se presenta.

Como punto de partida del trabajo, y como parte de la fase de elaboración del mismo, la autora ha fijado las siguientes expectativas: ser capaz de diseñar un proceso de análisis estadístico básico como complemento al uso de sistemas de información geográficos para generar un mayor conocimiento de una problemática que afecta al territorio, especialmente en su dimensión urbana y centrando la atención en la ciudad, en su planificación y en la definición de políticas públicas asociadas a su mejor funcionamiento.

2. Estado de la cuestión

A nivel europeo, durante los últimos años los datos demuestran que la dinámica de desplazamientos se ha orientado hacia un mayor uso del vehículo privado que del transporte público (MITECO, Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050., 2020). El actual modelo de movilidad ha generado que, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más del 80% de las personas que viven en ciudades estén expuestas a niveles de calidad del aire que superan los límites recomendados. Incluso, en España, se estima que unas 30.000 muertes prematuras tienen su origen en la mala calidad del aire, siendo una de las causas el actual modelo de movilidad y transporte. Los contaminantes relacionados con las causas de muerte prematura responden a los valores de 6.800 decesos por NO₂, 23.000 por PM y 1.800 por O₃ (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2020). Estos contaminantes que afectan más a la salud de las personas son más dañinos a nivel de ciudad, frente a los contaminantes que afectan al calentamiento global.

En la siguiente ilustración puede comprobarse los años supuestamente perdidos como consecuencia de los altos niveles actuales de PM_{2,5} y NO₂, y cómo afecta a la población de Europa.

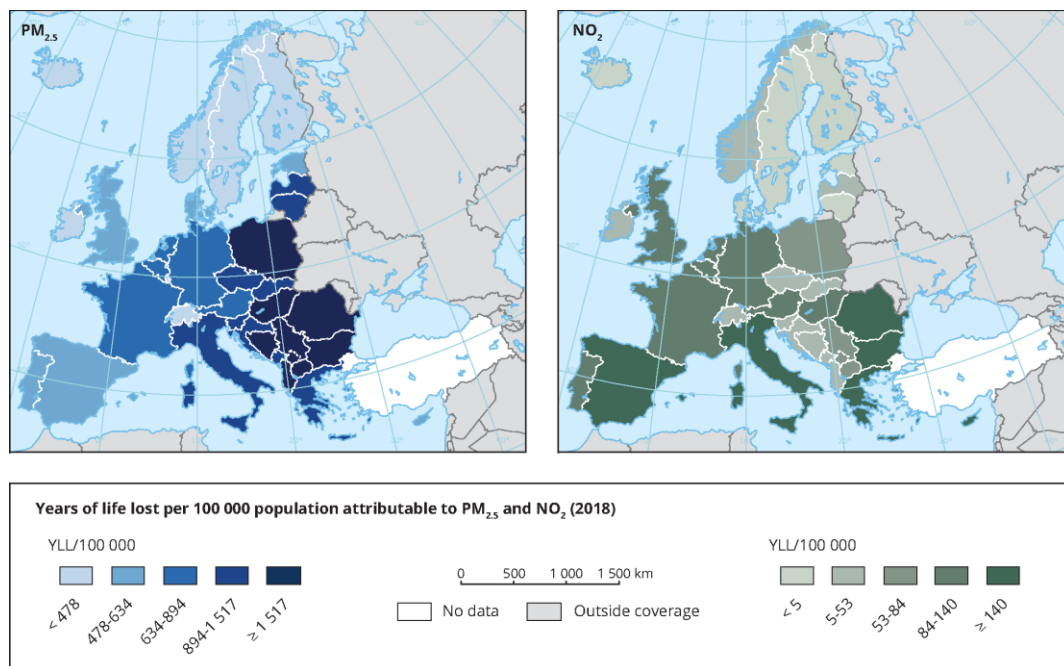


Figura 1. Años de vida perdidos por 100 000 habitantes atribuidos a PM_{2.5} and NO₂ (2018). Fuente: Agencia Europea de Medioambiente.

A este respecto, también en España y teniendo en cuenta factores de ocupación y consumos medios tanto en uso urbano como en interurbano, se observa que la emisión de CO₂ por viajero y kilómetro recorrido varía en función del tipo de transporte. El avión se presenta como el modelo más contaminante con 192 gCO₂/km seguido del coche con una emisión de 121 gCO₂/km. Por el contrario, el tren de alta velocidad y los vehículos eléctricos ya sean bicicletas, motos, coches o autobuses, son las formas de viajar con menor emisión de gases contaminantes siendo su valor en torno a 20 gCO₂/km (IDAE, 2022).

A nivel europeo cabe destacar que las emisiones de CO₂ desde 1990 han ido sufriendo variaciones de acuerdo con nuestra forma de vida. El transporte doméstico es el generador de más emisiones cuya tendencia ha ido en aumento a diferencia de las emisiones provocadas por las edificaciones que, en búsqueda del ahorro energético han desarrollado nuevos sistemas de construcción (Europeo, 2022). A continuación, se presenta una infografía que muestra la comparativa de emisiones en la Unión Europea.

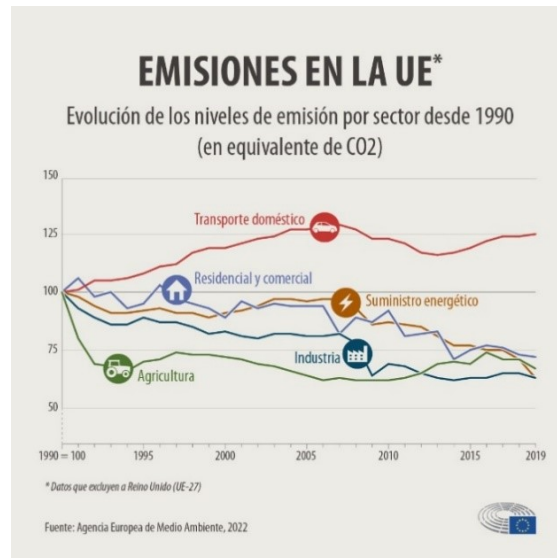


Figura 2. Emisiones de CO2 en la UE desde 1990-2019. Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente, 2022.

En nuestro país el sector del transporte doméstico produce el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo un obstáculo para conseguir alcanzar la descarbonización requerida por el Acuerdo de París en 2015. Este Acuerdo es un tratado internacional realizado por Naciones Unidas que trata todos los aspectos de la lucha contra el cambio climático cuyo carácter jurídico es vinculante.

Los actuales niveles de emisiones contaminantes provenientes del actual sistema de movilidad no sólo obstaculizan alcanzar los objetivos de descarbonización propuestos para 2030, sino que, además, generan otros problemas asociados a la ciudad y lo urbano. Entre otros, es especialmente reseñable la ocupación del espacio “público” con elementos privados (coches) durante un lapso muy prolongado (aparcamiento gratuito), cuestión que impide dotar de cierta vitalidad y concentración de actividad a determinados sectores de la ciudad (Shoup, 2011), o la percepción de inseguridad que tienen peatones y ciclistas ante tanto vehículo motorizado y con un chasis más resistente que el propiamente humano (Colville-Andersen, 2018). Son varios los documentos de análisis de la movilidad urbana que dan razón de que el número de accidentes se incrementa en las zonas de mayor intensidad de vehículos, o con mayor número de plazas de estacionamiento en superficie vinculadas al vehículo privado (Figura 3).

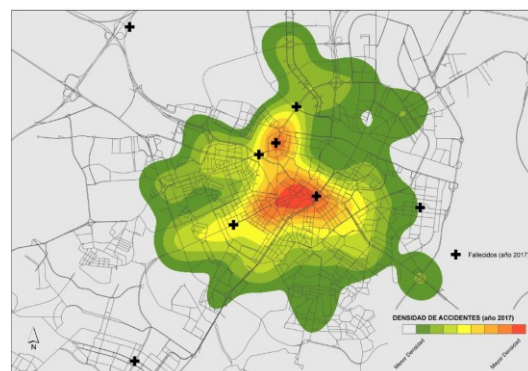


Figura 3. Accidentes en 2017. Fuente: Plan de Movilidad Urbana Sostenible

En el libro *Copenhagenize*, se habla sobre la arrogancia del espacio dado al vehículo que se encuentra tanto en circulación como aparcado. Esto produce un efecto sobre los viandantes que tratan de evitar de forma casi instintiva las zonas donde la prioridad es vehicular. En la imagen siguiente el autor, Mikael Colville-Andersen, realiza un esquema del uso de una zona determinada de París para comprobar cómo el vehículo tiene una presencia mayor que el peatón y cómo, a través de unas actuaciones mínimas como la inclusión de un carril bici o una zona de arbolado, permite equilibrar el espacio.

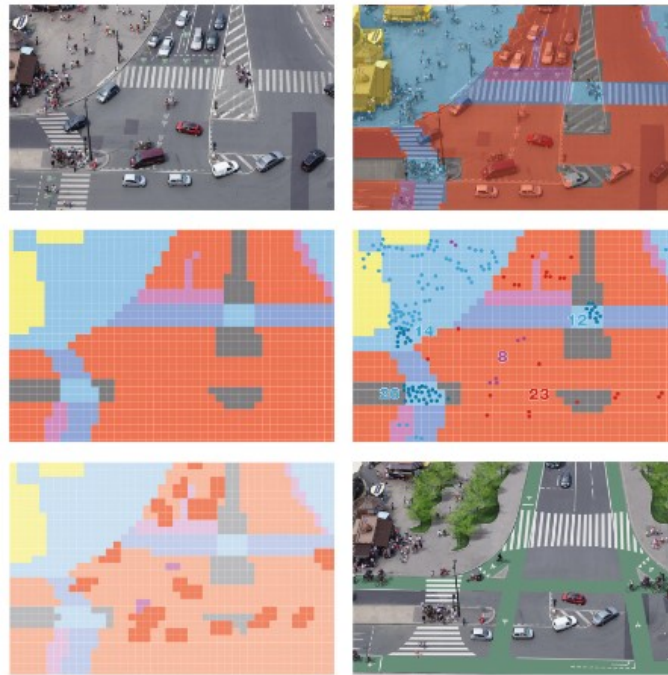


Figura 4. La arrogancia del espacio en París. Mapeo de cuántos espacios son ocupados por cada tipo de usuarios de movilidad. Estas intersecciones centradas en el automóvil pueden modernizarse. Fuente: *Copenhagenize*.

En consecuencia, la priorización del vehículo frente a otras formas de movilidad ha tenido como resultado la generación de itinerarios discontinuos que favorecen un tipo de desplazamiento. Como se muestra en la imagen inferior, la evolución de la forma de desplazamiento ha ido variando a favor del vehículo privado. Con ello, han ido modificándose las ciudades y su urbanismo para ir dando respuesta a esta forma de desplazarnos.

A SHORT HISTORY OF TRAFFIC ENGINEERING

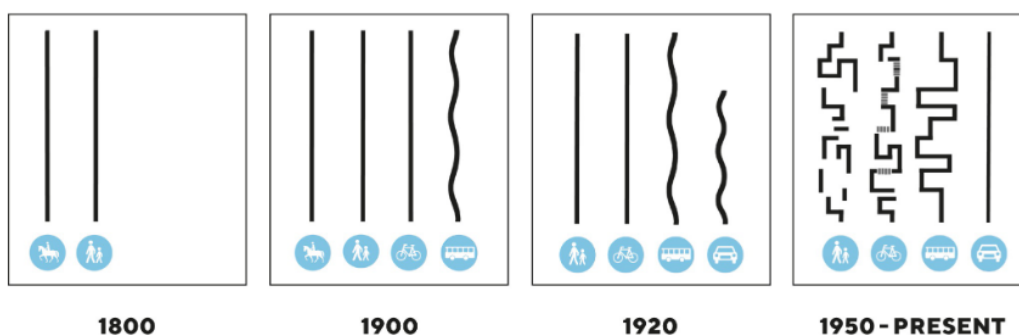


Figura 5. Breve historia de la ingeniería de tráfico. Fuente: *Copenhagenize*.

Aunque la superioridad del vehículo privado es una realidad, en los últimos años se ha podido comprobar cómo nuestra forma de desplazarnos dentro de las zonas urbanas ha ido incluyendo alternativas. La oferta de vehículos compartidos como las motos o los patinetes eléctricos plantea unos escenarios que favorezcan la reducción del número de vehículos privados. Además de los avances centrados en el desarrollo tecnológico de los vehículos eléctricos, la digitalización permite, además, hacer un uso compartido del vehículo de manera más sencilla y accesible en entornos urbanos, sobre todo en ciudades con cierta masa poblacional. Teniendo en cuenta todo ello, es posible concluir que existe un cambio en el patrón de movilidad, una “triple revolución” y, con ella, una reducción de las emisiones contaminantes (Sperling, 2018; Ruiz, 2019).

En este marco de acción, las zonas de bajas emisiones (ZBE) tienen un propósito claro: “dar prioridad a vehículos que cumplan con determinados estándares de calidad, fundamentalmente en términos de emisiones, sin perjuicio de que el derecho de tener ciertos niveles de movilidad y conectividad se vea afectado para el conjunto de la población”. Esta cuestión es importante porque, en cierta forma, su génesis se fundamenta en la cualidad de restricción o limitación de la entrada de vehículos a determinadas zonas de la ciudad (CITA). Para su puesta en práctica buscan implantarse en áreas urbanas densas y compactas cuya actividad comercial es importante. Entre otros aspectos importantes, el éxito de las zonas delimitadas y protegidas frente al vehículo se debe a la creación de polos de atracción que eviten el “vacío” de estos espacios. Es decir, se ha de fomentar un urbanismo que sea capaz de atraer y de impulsar los comercios, los equipamientos y los servicios de proximidad, al igual que los espacios de calidad social y ambiental (López-Escolano & Pueyo Campos, 2019).

Ahora bien, para garantizar la reducción de las emisiones contaminantes y la mejora de la calidad del aire, Europa ha fijado la necesidad de establecer ZBE para el año 2023. Sin embargo, en la actualidad, y al menos en España, no existe ningún documento con criterios objetivos y de aplicación normativa que, desde un punto de vista técnico u operativo, pueda servir como base para la definición de estas zonas de bajas emisiones, recayendo toda la responsabilidad en el buen hacer de los técnicos municipales. Este hecho está generando una “inseguridad jurídica” que entorpece su ejecución (L.L, 2022). De igual modo, se desconocen los posibles efectos sobre el entorno construido y sobre el uso cotidiano que los ciudadanos realizan del entorno urbano delimitado. Este es precisamente el punto de partida que toma el presente trabajo de investigación.

3. Objetivos

El Acuerdo de París de 2015 representó la alianza y el compromiso adquirido por los Estados Parte para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Desde entonces se han ido trabajando en diferentes herramientas como el Pacto Verde Europeo (2019) o la Estrategia Europea de descarbonización en 2050 (2019) para conseguir llegar a los objetivos. Desde Europa

se ha manifestado la necesidad de tomar medidas urgentes que ayuden a cumplirlos. El Gobierno de España aprobó en el año 2021 la Ley de cambio climático y transición energética que especificaba varias actuaciones a realizar por parte de las Comunidades Autónomas, en la misma línea que el resto de Europa. Una de ellas exige la delimitación de ZBE en ciudades que cumplan con las determinaciones establecidas (> de 50.000 habitantes o con índices de contaminación por encima de los límites establecidos por la OMS).

Actualmente, Zaragoza no cuenta con una delimitación aprobada por el Ayuntamiento de la ciudad. La falta de un decreto que de soporte jurídico a la estrategia es uno de los motivos apelados por la administración. No obstante, la Ley exige la puesta en marcha de las ZBE en enero de 2023, por tanto, se considera importante establecer unos criterios que puedan favorecer la identificación de posibles zonas que presenten factores de riesgo, para su posterior delimitación.

De acuerdo con lo anterior, este Trabajo Fin de Máster, dado su carácter ambiental y de ordenación territorial, tiene como objetivo principal esclarecer la actual situación de definición, pero todavía no de aplicación de las ZBE, así como analizar cuáles son los factores que pueden actuar como base para la delimitación de estas zonas. Con objeto de evaluar los resultados alcanzados, este planteamiento se aplica a un caso concreto, la ciudad de Zaragoza. Asimismo, como objetivos complementarios, el trabajo plantea los siguientes:

- Evaluar los avances normativos para la definición de ZBE. Actualmente no ha sido aprobado un decreto que regule las ZBE. Por el contrario, y para facilitar su puesta en marcha, el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico presentó en 2021 un documento donde quedan recogidas las directrices para crear las delimitaciones de ZBE. Para este objetivo se ha planteado un escenario de definición de ZBE donde se establece una relación positiva entre los factores de congestión o densidad de tráfico, densidad de población y las zonas comerciales como hipótesis 1 -H1-.
- Evaluar un escenario donde exista una relación positiva entre la existencia de centros educativos y su accesibilidad sostenible en base a los estudios de los resultados de implantación en ciudades españolas, como hipótesis 2-H2-.
- Evaluar un posible escenario donde queden identificadas las zonas que presentan grado de susceptibilidad de ser regulados según el resultado del análisis estadístico. Hipótesis 3- H3-.

Para la realización del estudio de las tres hipótesis planteadas, este trabajo ha sido desarrollado mediante la metodología definida en el apartado siguiente.

4. Metodología y fuentes de información

El método llevado a cabo en este Trabajo Fin de Máster se ha desarrollado en cuatro pasos; un paso inicial de recopilación de la información con la búsqueda de las fuentes de datos y su posteriores tratamiento para realizar el análisis; un segundo paso de análisis de los datos recogidos descartando aquellos que no contenían suficiente información para poder conformar componentes de estudio; un tercer paso de ponderación de los componentes e interpretación estadística y un último paso de mapeo de los componentes y obtención del indicador final.

A continuación, se presenta un esquema del flujo de trabajo realizado:

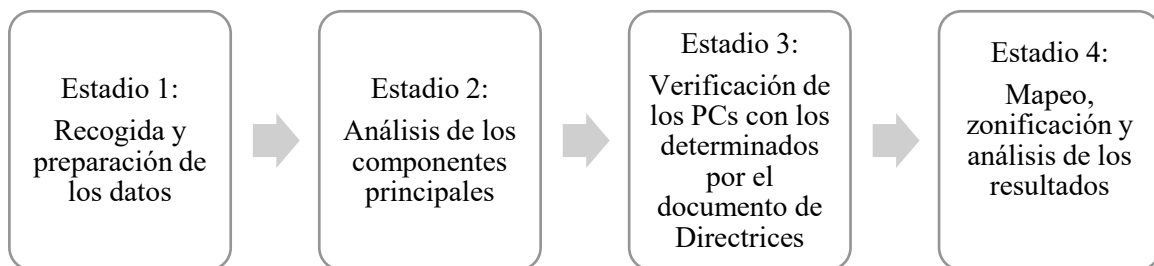


Gráfico 1. Flujo de trabajo. Fuente: elaboración propia.

Para la recopilación de datos se ha realizado un estudio previo del marco normativo existente tanto a nivel europeo como español. A nivel de Europa, desde Naciones Unidas se han planteado varias estrategias que permitan lograr los objetivos de reducción de emisiones de efecto invernadero. El Pacto Verde Europeo y la Estrategia europea de descarbonización en 2050, ambos del 2019, son algunas de ellas. España aprobó en 2021 una Ley basada en las líneas marcadas por Europa para lograr alcanzar los niveles exigidos por parte de Naciones Unidas donde se establecen varios ejes de actuación a implantar en diferentes campos. La fecha límite establecida para la implantación de una de esas medidas ligada al cambio climático se fijó en enero de 2023. Como resultado, varias ciudades españolas se han anticipado a la fecha límite marcada por el gobierno para implantar las medidas establecidas. Madrid y Barcelona son ejemplos de ciudades que, dados sus altos niveles de polución, han decidido desarrollar ZBE de acuerdo con sus propios estudios. Esto es debido a la carencia de un documento técnico que guíe de forma general a las administraciones a la hora de establecer zonas reguladas. Del mismo modo, Barcelona ha realizado una guía técnica basada en sus experiencias, fallos y aciertos por lo que, unido al análisis de estudios de la repercusión de la implantación de las ZBE en estas dos ciudades, se han extraído posibles factores que afectan por su naturaleza a la calidad del aire, permitiendo analizar la hipótesis 2 planteada.

El estudio de los datos recogidos inicialmente y aplicados al marco normativo actual darán como resultado un escenario que mostrará la relación establecida entre las variables para la hipótesis 1 definida.

I. Factores

En primer lugar y tras haber realizado un primer estudio de los objetivos a conseguir mediante la delimitación de las ZBE, se ha realizado un listado de las principales fuentes de información útiles. La mayor parte de los datos analizados de carácter municipal, se han obtenido del Ayuntamiento de Zaragoza a través del acceso de datos abiertos para el año 2022. El número de accidentes, carriles de bici, autobuses...son algunos de ellos. En cuanto a los datos demográficos y del censo del parque de vehículos distribuido por sección censal, se han obtenido de las publicaciones realizadas por el equipo de investigación GEOT de la Universidad de Zaragoza, muchos de ellos consultables en la plataforma del Ayuntamiento de Zaragoza.

Por un lado, los datos de intensidad de tráfico y aforos pertenecen a las investigaciones del grupo Arquitecturas *Open Source* de la Universidad San Jorge. De igual modo, la recopilación de datos también ha sido posible gracias al Consorcio de Transportes de Zaragoza (CTAZ) y a la Oficina de promoción de movilidad eléctrica de Zaragoza y su entorno.

Por otro lado, la descarga de capas base, locales comerciales, zonas verdes y viario, ha sido realizada a través de OpenStreetMap, mediante la herramienta JOSM.

Inicialmente el origen y la estructura de los datos era muy heterogénea. Para permitir una relación entre los diferentes factores, cada uno se ha procesado y estudiado por sección censal pudiendo realizar una prueba multicolinealidad para establecer posibles relaciones entre ellos.

Debido al gran número de factores obtenidos en la descarga de datos y atendiendo a los objetivos a alcanzar a través de las ZBE, se han establecido tres grupos temáticos que permitan establecer una relación entre las diferentes variables que contribuyan al logro de los objetivos marcados. Estos bloques son los siguientes:

- 1. Agentes generadores de polución.** Este factor es uno de los determinantes para establecer las ZBE. Permite estudiar el número de vehículos matriculados por sección censal diferenciando su tipología y el número de aparcamientos existentes tanto a nivel público en vial o regulado. De la misma forma, este factor atiende a los posibles focos de atracción de desplazamientos como pueden ser los locales comerciales de cierta superficie e interés, así como los servicios establecidos para el vehículo. Por tanto, se definen como aquellas variables que contribuyen a la generación de polución por sus características.
- 2. Agentes mitigadores.** La importancia de contrarrestar las emisiones provocadas por algunas de las variables del agente anterior, se definen con el factor mitigador. Este se compone de las variables que ofrecen alternativas a los desplazamientos cuyas emisiones contribuyen al empobrecimiento de la calidad del aire y al incremento del efecto invernadero. La alternativa verde como el uso de la bicicleta o el transporte público son entendidas como variables que ayudan a

mitigar la polución. Pero para que esta alternativa sea efectiva, la ciudad debe contar con infraestructuras que le den soporte como son los carriles bici, carriles pacificados o una red de transporte que permita cubrir cualquier área urbana.

- 3. Agentes afectados.** En cuanto a los objetivos determinados a nivel europeo de calidad de aire y reducción de las emisiones, se encuentra una de las razones por las que se estipulan unas medidas: la protección del planeta y de los habitantes. Por este motivo, se han establecido variables que ayuden a conocer el número de población residente por sección censal en cada área de Zaragoza y la presencia de equipamientos educativos cuyos entornos son claras zonas para proteger de la polución.

II. Análisis de componentes principales (ACP)

Para poder calcular e interpretar los componentes principales clave (CP) se ha utilizado el análisis de componente principal (CP) mediante la herramienta RStudio.

Las variables iniciales ya estandarizadas y procesadas se han sometido a *Principal Component Analysis (ACP)*, seleccionados de acuerdo con el criterio de Kaiser (Kaiser, 1960). El método PCA es un método estadístico que ayuda a simplificar la complejidad de las variables con muchas dimensiones a la vez, conservando la información de cada una. De esta forma, se sintetiza toda la información aportada por múltiples variables, dando como resultado un número menor de componentes que faciliten el estudio.

Cada componente principal CP se obtiene a partir de la combinación lineal de las variables originales. Cada componente obtenido es el resultado de esa combinación lineal normalizada de las variables con mayor varianza. Por este motivo, el CP1 tendrá una relación de varianza mayor que el CP2 y así de forma consecutiva, pero con la condición de que la combinación lineal no puede estar correlacionada con la componente anterior. El proceso se repetirá de forma iterativa hasta calcular todos los componentes posibles. Se obtiene como resultado un resumen de los componentes resultantes ordenados según su orden de importancia del resultado del cálculo de la matriz de covarianzas.

La varianza es una variable que se mide en su misma escala elevada al cuadrado y sirve para medir la dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto de su media. Por este motivo, las variables deben ser estandarizadas antes de calcular los componentes para que todas tengan una media de 0 y una desviación estándar de 1.

El proceso de ACP al generar las componentes les asignan un signo definido por la dirección de la componente del vector. Esta dirección siempre será la misma, aunque el signo esté invertido.

La obtención de los CP permite analizar un escenario que muestre relaciones estadísticas de las variables seleccionadas inicialmente y ponderadas según su signo y varianza, para poder estudiar la hipótesis 3 planteada.

5. Acotaciones a la investigación

Zaragoza es una ciudad con un fuerte interés por mantenerse en el foco de investigación y muy activa en cuanto a avances en política pública en movilidad, con proyectos como el Pabellón Puente o *Mobility City*, que pondrán a la ciudad como referencia en movilidad a nivel europeo.

La ciudad cuenta con una población de 675.301 habitantes en 2021, representando el 69,80% de la provincia y el 50,92% de la Comunidad Autónoma de Aragón (Instituto Nacional de Estadística, 2022). Durante los últimos años, Zaragoza ha experimentado un crecimiento demográfico desigual debido a los diferentes ciclos económicos y migratorios, con un descenso de la población en un 0,96% en el último año, como posible resultado de la pandemia.

Como consecuencia de los periodos de crecimiento demográfico, la ciudad fue dispersándose por la periferia para poder dar respuesta a las necesidades de vivienda, convirtiéndose en una ciudad con características de urbe intermedia a escala espacial y demográfica (Escolano-Utrilla, López-Escolano, & Pueyo-Campos, 2018), con una gran compacidad del espacio urbano y unas infraestructuras que favorecen la accesibilidad al centro urbano.

En términos de población es una de las principales áreas metropolitanas de España, con mayor calidad de vida según los últimos resultados de encuestas, y, en términos de desplazamiento en la ciudad, con un sistema de transporte público que permite una accesibilidad en unos tiempos muy razonables (Cfr. Ortiz, 2022).

Analizando la morfología de la ciudad, Zaragoza se ha expandido a lo largo de los años con un carácter de “fragmentación socioespacial a varias escalas” (Pueyo-Campos, López-Escolano, & Escolano-Utrilla, 2018). Esto ha conducido a estar compuesta por “fragmentos monofuncionales” colindantes con el espacio urbano preexistente cuyo nexo de unión es únicamente las arterias de circulación principales. Esto provoca que las vías generen espacios de barrera que no favorezcan el paso peatonal, si no por el contrario, “impulsa un modelo policéntrico basado en desplazamientos en automóvil privado”.

Durante los últimos años, en esta ciudad la tendencia ha ido encaminada hacia el uso del transporte público, en detrimento de la movilidad peatonal (Tabla 5).

Tabla 1. Preferencia de desplazamientos para el periodo de 2007-2017. Fuente: Ayuntamiento de Zaragoza.

Mode	Nombre de trajets quotidiens en 2007	Part 2007	Nombre de trajets quotidiens en 2017	Part 2017	Augmentation 2007-2017
À pied	864 341	50,52 %	794 060	45,91 %	-8,13 %
Bicyclette	15 787	0,92 %	50 170	2,90 %	+217,79 %
Transport collectif	343 368	20,07 %	410 053	23,71 %	+19,42 %
Véhicule privé	444 011	25,95 %	464 944	26,88 %	+4,71 %
Autres	43 314	2,54 %	10 378	0,60 %	-76,04 %
Total	1 710 821	100,00 %	1 729 605	100,00 %	+1,09 %

Esta preferencia ha ido variando en la última etapa. La ampliación de la red de carriles bici junto con la pacificación de viales ha dado lugar a popularizar el uso de la bicicleta o el patinete eléctrico. En el año 2019, escenario pre-pandémico, se llegó a alcanzar un uso del patinete igual al de la bicicleta siendo esa proporción del 50% con alrededor de 2.500 desplazamientos diarios mediante patinete de alquiler. Su uso representó el 16,6% respecto del total de desplazamientos (López-Escolano & Pueyo Campos, 2019).

A continuación, se muestra una relación de preferencia de uso entre patinete eléctrico y bicicleta de alquiler y el servicio Bizi Zaragoza para los años 2019 y 2021. Se ha desestimado el año 2020 por no ser un escenario de comparación debido a la pandemia y el 2022 por no tener registrados todos los datos al no haber finalizado el año.

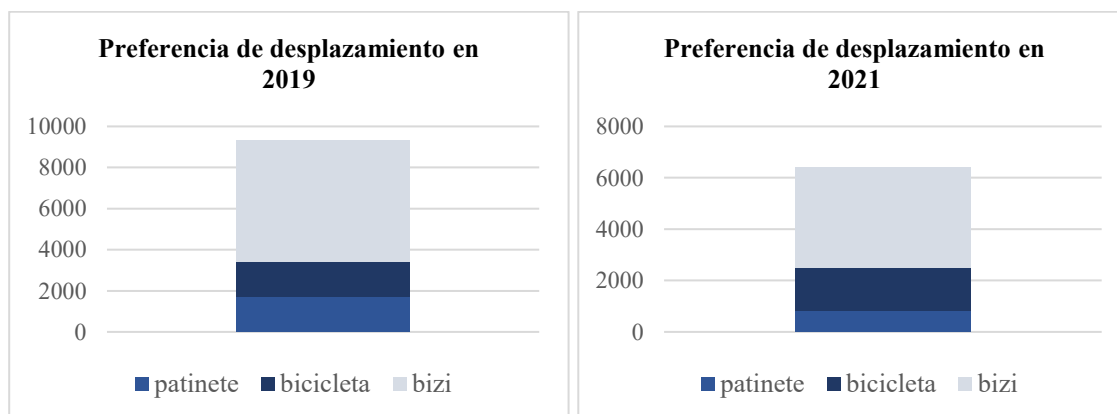


Gráfico 2. Preferencia de uso entre patinete y bicicleta de alquiler y bizi. Fuente: elaboración propia a partir de los datos facilitados por el Ayuntamiento de Zaragoza.

Un aspecto reseñable que puede inducir a la ciudadanía a desplazarse a pie es la importancia de la proximidad a zonas verdes. Un estudio realizado por Bolea, Postigo y López-Escolano (2022) analiza la proximidad a las zonas verdes urbanas (ZVU) como estrategia de adaptación a situaciones pandémicas en el caso de la ciudad de Zaragoza. El análisis se ha realizado para las distancias de 150, 300 y 500 metros en el año 2020, cuyos resultados indican que, con un radio de 150 m de distancia, excluye casi la cuarta parte de la población que tiene acceso a una zona

verde. Esta distancia equivale a unos 3 minutos de desplazamiento a pie desde el domicilio promoviendo el llamado “ejercicio verde”.

A continuación, se presenta un mapa de los resultados de dicho estudio en el que se puede visualizar la dispersión por manzanas de las zonas verdes para un radio de 150 m.

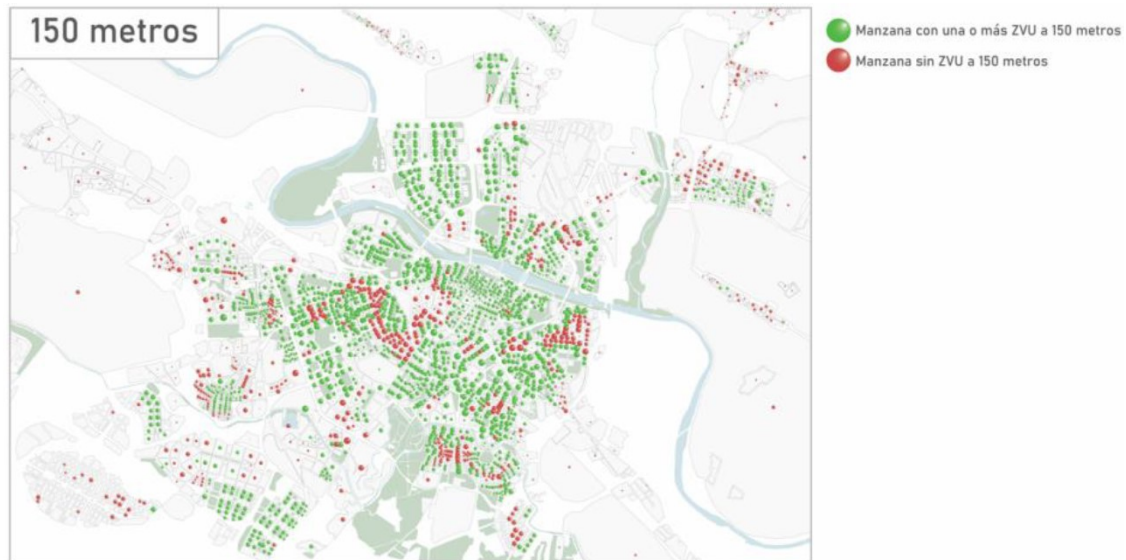


Figura 6. Análisis exploratorio de proximidad de la población a las ZVU para 150 metros en 2020. Fuente: Bolea, Postigo y López-Escolano (2020).

Teniendo en cuenta los análisis realizados hasta el momento sobre las posibles delimitaciones de las ZBE en Zaragoza por parte del Ayuntamiento, el Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) ya mostró su intención de desarrollar itinerarios de movilidad supraccesibles. Los viales que quedan recogidos dentro de esta delimitación serán peatonalizados incrementando los niveles de accesibilidad en relación con los establecidos en la normativa vigente, dando lugar a un espacio de alta calidad no motorizada. En la imagen inferior puede observarse las calles que quedarían comprendidas en los itinerarios descritos.



Figura 7. Red de itinerarios Movilidad Supraccesibles. Fuente: PMUS.

Por lo tanto, Zaragoza cuenta con estudios previos que se han realizado durante los últimos años y que han ido identificando elementos importantes a proteger o al menos a considerar. Este análisis previo es importante ya que forma parte del primer paso a realizar a la hora de hacer frente a un riesgo como es la calidad del aire que respiramos. Identificar zonas vulnerables o con características especiales que requieran un grado de protección, va a permitir realizar los análisis de riesgos de un modo más localizado favoreciendo la gestión de estos a través de instrumentos como en este caso la delimitación de las ZBE (UNISDR, 2017).

El periodo de estudio se centra en las fechas más recientes con las que se cuenta con datos. Se ha excluido de toda aquella información relativa al año 2020 por considerarse un año anómalo por la pandemia.

El análisis de los datos se limita a un nivel de sección censal, unidad estadística inferior al municipio que suele ser la base de la mayoría de las operaciones estadísticas. Tienen un carácter básicamente operativo por lo que se definen por tamaños establecidos. Zaragoza cuenta con 491 secciones censales con alrededor de 1500 personas de media en cada una.

Como se ha mencionado, la metodología llevada a cabo ha basado su desarrollo en el marco normativo actual, estableciendo los objetivos y necesidades en base a las determinaciones exigidas en la normativa. A continuación, se desarrolla el marco contexto de este trabajo.

6. Marco teórico

Normativa

I. Ley 7/2021 de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

Desde las Naciones Unidas se ha subrayado en repetidas ocasiones la imperiosa necesidad de tomar medidas frente al cambio climático. Pese a los esfuerzos y a la determinación de medidas a realizar por los Estados Parte del Acuerdo de París de 2015, se ha destacado la notable diferencia entre el camino para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y las obligaciones asumidas.

La creación del Pacto Verde Europeo (2019) y la Estrategia Europea de descarbonización en 2050 (2019), son metas que se aprobaron por parte de todos los integrantes y que conllevaban una serie de medidas que deberían ir realizándose para el cumplimiento de los objetivos. Tras el informe especial realizado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, publicado el 8 de octubre de 2018, se ha podido determinar el origen del calentamiento global: las actividades humanas responsables de aumentar la temperatura 1°C. Este incremento puede llegar a ser de hasta 1,5°C si no se alteran las condiciones de vida actuales. Para el caso de España, este aumento es superior a la media en 0,5°C.

El cumplimiento de los objetivos globales del Acuerdo de París se ha indicado como posible, siempre que se adopten unas políticas públicas precisas y unas inversiones bien orientadas. Estos objetivos son: mantener el incremento de la temperatura media global por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales, e incluso al 1,5°C; establecer una coherencia entre los flujos financieros y el nuevo modelo de desarrollo; y aumentar la capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático promoviendo la resiliencia.

En España se ha asumido este compromiso mediante la aprobación de la Ley 7/2021, de 20 de mayo de 2021 referida al cambio climático y transición energética.

Como cita dicha Ley: “Avanzar en una economía descarbonizada y segura implica aceptar un uso responsable de los recursos por lo que la ley, con carácter general, limita los nuevos proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos, minerales radioactivos y carbón en territorio español”. Para conseguirlo, se establecen una serie de medidas recogidas en nueve títulos. Es en su título IV donde se abordan cuestiones relativas a la movilidad sin emisiones y transporte. El objetivo es lograr tener un parque de vehículos comerciales ligeros y turismos sin emisiones directas de CO₂ para 2050. Para ello, todos los municipios españoles de más de 50.000 habitantes deberán atender a las limitaciones y cambios que obliga esta Ley. De igual modo, la Ley establece que municipios que, pese a no contar con el número máximo de habitantes estipulados en la primera norma, si éstos superan los 20.000 habitantes y los valores límites de los contaminantes que quedan regulados en el Real Decreto de la calidad del aire (Real Decreto 102/2011, de 28 de enero), deberán recoger las exigencias de la citada Ley. Esta lista asciende a un total de 149 municipios, en los que se incluye la ciudad de Zaragoza por sobrepasar los 50.000 habitantes. Estos municipios deberán adoptar “planes de movilidad urbana sostenible que vayan acordes con los planes de calidad del aire y que introduzcan medidas de mitigación que permitan reducir las emisiones derivadas de la movilidad” (Ley 7/2021).

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, 2021) ha fijado para el año 2030 unos objetivos de circulación de vehículos matriculados con nulas o bajas emisiones directas de CO₂.

Deberán disponer de áreas de circulación restringida a vehículos que no cumplan los estándares de emisiones impuestos por la Unión Europea, con objeto de reducir la contaminación dentro de los entornos urbanos. Se establecerán zonas de bajas emisiones antes del año 2023, aportando medidas que faciliten los desplazamientos denominados como “ejercicio verde” (caminar, correr o ir en bici), así como corredores verdes interurbanos que conecten espacios verdes con grandes áreas verdes periurbanas. Se deberán tomar medidas para fomentar y mejorar el uso de la red de transporte público, así como su electrificación, integrando los planes específicos de electrificación con las zonas delimitadas de bajas emisiones.

La delimitación de la zona de bajas emisiones será establecida por la Administración pública, en las que se incluirán restricciones de acceso, circulación y estacionamiento de algunos

vehículos ayudando a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. La restricción de vehículos se determinará en función de su nivel de emisiones de acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Vehículos vigente, tal y como recoge esta Ley.

II. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

Este Real Decreto (RD) surge tras la evolución de diferentes Directivas a lo largo del periodo entre 1972 y la actualidad, cuyo objetivo a desarrollar ha sido la mejora de la calidad ambiental.

Tras el Acuerdo de París la mejora de la calidad del aire ha tomado un rol principal. Para poder establecer medidas que ayuden a mejorarlo, se ha de evaluar la calidad del aire de partida a través de mediciones que permitan establecer unos valores iniciales. En el capítulo II de este RD se determinan los tipos de evaluación que han de llevarse a cabo para los diferentes contaminantes. En consecuencia, cada Comunidad Autónoma deberá elaborar una serie de medidas o planes de acción que permitan alcanzar los valores marcados por la Unión Europea.

Los valores marcados como objetivos para los diferentes contaminantes son los que aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Valores límite de concentración de contaminantes recomendados por la OMS. Fuente: ECAZ3.0

Contaminante	Valor medio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor medio 10 min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor medio 1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor medio 8 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor medio 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM 2.5	10	-	-	-	25
PM 10	20	-	-	-	50
O ₃	-	-	-	100	-
NO ₂	40	-	200	-	-
SO ₂	-	500	-	-	20

En el caso de Zaragoza los valores recogidos en el documento “situación de la calidad del aire en la ciudad de Zaragoza en el año 2021” establece lo siguiente:

Tabla 3. Valores de concentración de contaminantes recogidos por el Ayuntamiento de Zaragoza para el año 2021. Fuente: Situación de la Calidad de aire en la ciudad de Zaragoza, 2021.

Contaminante	Valor medio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor medio 8 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valor medio 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM 2.5	9,05	-	-
PM 10	17,33	-	57,33
O ₃	-	128,25	-
NO ₂	20,25	-	110,38
SO ₂	3,93	-	7,00

Para lograr alcanzar estos valores límites anuales, cada Comunidad Autónoma deberá establecer unas medidas que permitan su alcance. Estas medidas o planes de acción quedan recogidos en varios instrumentos que faciliten su implantación, siendo una herramienta clave la estrategia descrita en el siguiente apartado.

III. Estrategia de descarbonización a largo plazo: 2050.

Esta estrategia ha sido desarrollada de acuerdo con las directrices del Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo del 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima. En la Estrategia se describe la necesidad de elaborar estrategias por parte de los Estados Miembros a largo plazo.

Para su desarrollo se ha creado el PNIEC que trabaja junto con otros proyectos como es el Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética entre otros.

Siguiendo con los objetivos planteados en la UE, el PNIEC fija para España los siguientes:

- 23% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero respecto a 1990.
- 42% de energías renovables sobre el consumo total de energía final.
- 39,5% de mejora de eficiencia energética.
- 74% de energías renovables en la generación eléctrica.

En cuanto a la descarbonización trabajada por sectores, dentro del marco de la movilidad sostenible y transporte, el PNIEC asume como reto la electrificación del 28% del parque de vehículos y la reducción de emisiones en torno al 30% (Figura 4).

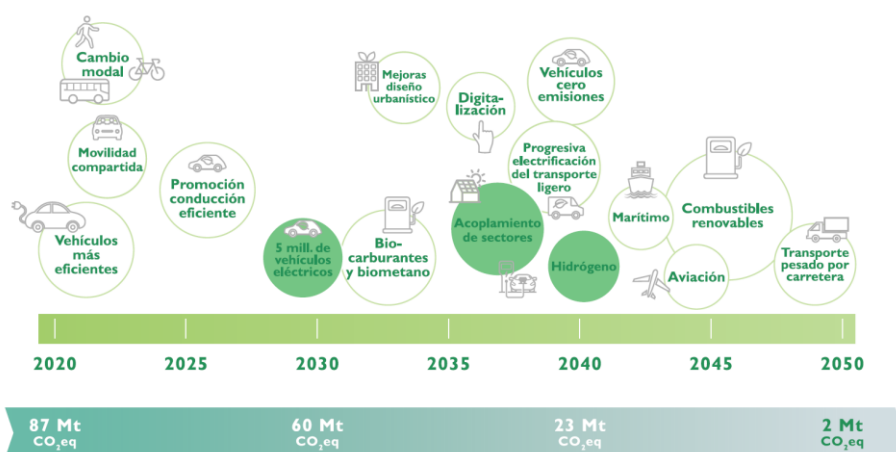


Figura 8. Movilidad sostenible y transporte. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020.

Durante los últimos años la industria de fabricación del automóvil ha invertido esfuerzos en investigación e innovación para crear turismos cuyas emisiones de CO₂ se reduzcan, en línea con los objetivos del Acuerdo de París. En la siguiente gráfica realizada por la Dirección General

de Tráfico en 2017, puede observarse ese progreso de reducción de emisiones de CO₂ a nivel nacional de los turismos nuevos que van constituyendo el parque de vehículos.

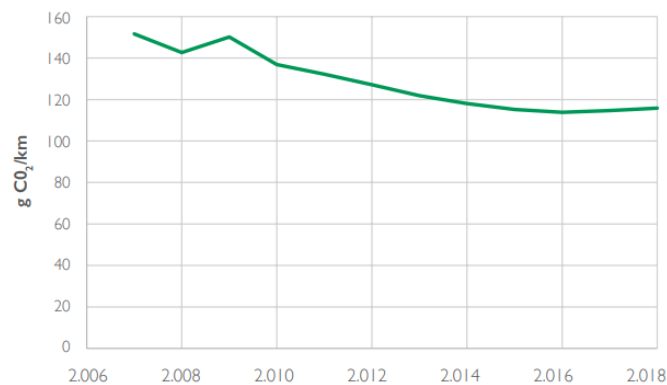


Figura 9. Evolución de las emisiones de CO₂ de los turismos nuevos. Fuente: DGT, 2017, Ministerio del Interior.

De acuerdo con la obligatoriedad de establecer una ZBE para el 2023, su aplicación va a suponer unos retos tanto para la ciudad como para los ciudadanos. Mantener el incremento por debajo de 2°C la temperatura media global, la mejora de la calidad del aire tomando como valores máximos los determinados por la OMS, el fomento y la mejora del uso del transporte público, la electrificación del parque de vehículos apoyando la descarbonización, son los retos principales. Sumado a ellos se encuentra el reto de posibilitar la movilidad entre las diferentes zonas que formen parte de la ZBE sin que su implantación suponga un obstáculo o un problema para el correcto desarrollo de los desplazamientos urbanos.

Zonas de bajas emisiones (ZBE)

Pese a no contar con un instrumento que regule jurídicamente la delimitación e implantación de estas ZBE, el Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), durante el año 2021 editó un documento titulado “Directrices para la creación de zonas de bajas emisiones (ZBE)”. Se trata de un documento donde quedan definidas las características principales que ha de contemplar una ZBE, su relación con la calidad del aire, el ruido, el cambio climático y la movilidad sostenible. Del mismo modo quedan descritos de forma pormenorizada los objetivos que ha de lograr la ZBE para que su implantación sea efectiva. Todos ellos vienen estipulados por lo determinado en el marco teórico del apartado anterior.

En cuanto a la implantación de estas zonas, el documento define las directrices que se han de tener en cuenta a la hora de generar la delimitación, así como el contenido mínimo que ha de conformar el proyecto de las ZBE.

I. Objetivos

Los objetivos que buscan alcanzar estas zonas se plantean desde la implementación en una parte del suelo urbano, que permita comprobar y mejorar sus acciones para una posterior

extensión a la totalidad del municipio o áreas metropolitanas, en aras de conseguir un cambio en el modelo de movilidad. Los objetivos se distinguen en:

- **Mejora de la calidad del aire y la salud de los ciudadanos.** A través de la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos y el ruido.
- **Contribución a la mitigación del cambio climático.** Mediante la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.
- **Cambio de la moda hacia modos de transporte más sostenibles.** Promover alternativas de movilidad más activa y verde recuperando espacios públicos que hasta ahora han sido utilizados por el vehículo.
- **Impulso de la eficiencia energética en el uso de los medios de transporte.** A través de inversiones, innovación y desarrollo de alternativas eléctricas frente a combustibles fósiles.

En relación con los objetivos descritos, se podrá establecer una jerarquía de movilidad urbana que favorezca a los más vulnerables actualmente, es decir, al peatón, apostando por un cambio en la forma en cómo entendemos la movilidad urbana.



Figura 10. La pirámide de la movilidad urbana. Fuente: IDAE, 2022. Directrices para la creación de la delimitación

Atendiendo a criterios geográficos se establecen dos tipologías que ya han sido puestas en práctica en algunos municipios: delimitación de un área/áreas concretas en el municipio (núcleo) o delimitación de una o varias zonas de transición de las ZBE núcleo con aplicación de medidas graduales evitando el efecto frontera (anillo).

A estas dos tipologías se pueden complementar con las siguientes características: delimitación de áreas con características especiales debido a ser polos de atracción de desplazamientos en automóvil como zonas industriales (especial) o tramos de calle (puntual).

Tabla 4. Tipos de ZBE. Fuente: Directrices para la creación de ZBE. Gobierno de España.

		Tipo de ZBE			
		Estructural		Complementaria	
		Núcleo	Anillo	Especial	Puntual
CRITERIOS GEOGRÁFICOS	Extensión Mínima (debe ser significativa y suficiente para el cumplimiento de sus objetivos)	Superficie mínima que desincentive el “efecto frontera” y, en todo caso, la zona mínima que abarque las estaciones que superan los niveles de calidad del aire.	Anchura mínima que desincentive el “efecto frontera” y, en todo caso, la zona mínima que abarque las estaciones que superan los niveles de calidad del aire.	Total del parque empresarial, polígono industrial o campus, ámbito sanitario o educativo.	Tramo de calle
		Global			
CRITERIOS DE GOBERNANZA		Alcance de todo el territorio municipal o metropolitano, o al menos, todo el ámbito de carácter residencial.			

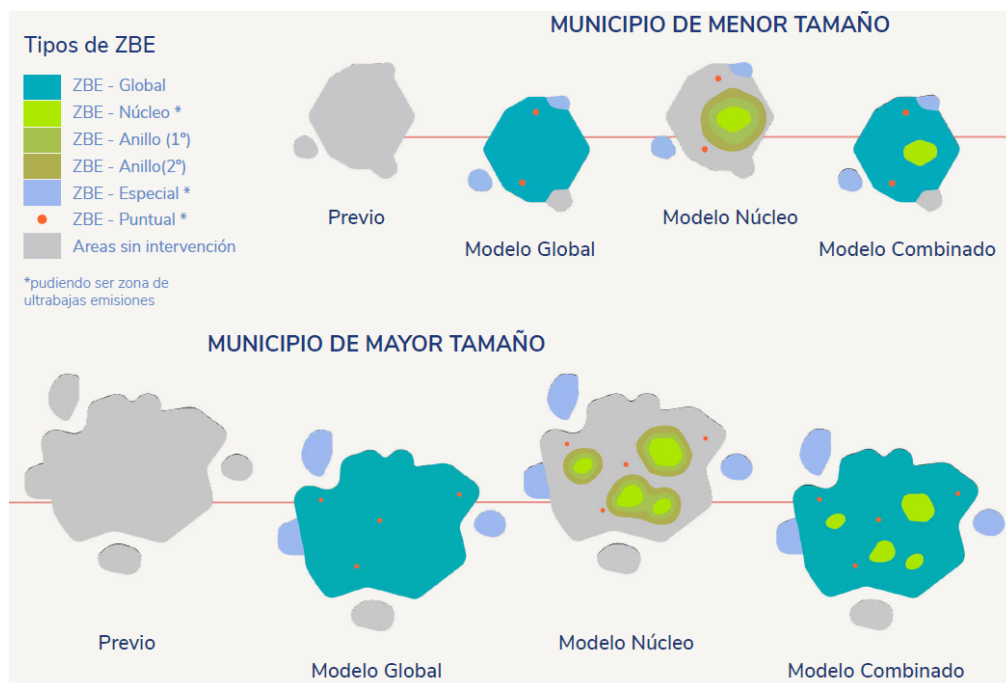


Figura 11. Tipos de ZBE. Fuente: Directrices para la creación de ZBE. Gobierno de España.

Para la implantación de una ZBE se debe seguir un esquema procedimental cuyo fin daría cumplimiento a los objetivos recogidos en el apartado II de este epígrafe. El esquema que responde al proceso de implementación es el siguiente:

1. Diagnóstico.
2. Definición de objetivos.
3. Definición y señalización de ZBE.
4. Restricciones, excepciones e incentivos, de acuerdo con los objetivos.
5. Análisis de impacto económico y social.
6. Mecanismos de control y sanción.

7. Mecanismos de seguimiento de los objetivos, monitorización y mejora continua.
8. Calendario de implantación.
9. Plan de sensibilización, comunicación y participación.

II. Medidas para su implantación reequilibrando el modelo de movilidad.

De acuerdo con la directriz número 9 – plan de sensibilización, comunicación y participación, el Gobierno de España ha recogido a través de un borrador un catálogo de medidas que permita trabajar hacia un modelo de movilidad más sostenible. Entre esas medidas destaca el fomento del desplazamiento a pie, en bici o en otros medios de movilidad unipersonal y eléctrica. Para que esta medida se lleve a cabo se han de poner en valor los itinerarios que conectan las áreas residenciales con las de ocio o de servicio público. Su puesta en práctica va a permitir reequilibrar el espacio urbano entre movilidad motorizada y no motorizada, incluyendo las zonas de aparcamiento que se encuentran ligadas a una limitación de la velocidad. De este modo, se producirá un incremento de vías calmadas que contribuyan a recuperar espacio urbano para el peatón.

Para que pueda existir una conexión entre los distintos puntos de la ciudad logrando un cambio en el modelo de movilidad, es necesario realizar mejoras en la red de transporte público. Para su logro se proponen medidas que favorezcan la integración multimodal, es decir, integrar alternativas verdes como el uso de la bicicleta o el patinete en el transporte público. Otras medidas a implantar podrían ser la digitalización y el uso de datos abiertos que promuevan el uso del transporte público como alternativa al vehículo privado, favoreciendo la planificación de los viajes.

Como objetivo para 2030 se deberán tomar medidas que ayuden a la electrificación de la red de transporte público y privado. Para que esto sea posible, el territorio deberá disponer de puntos de recarga repartidos que permitan la conexión y la carga rápida de los vehículos. En consecuencia, se deberá instar a las instalaciones existentes y a las venideras la obligatoriedad de disponer de estos puntos de recarga eléctricos.

Un punto importante para tener en cuenta es la distribución urbana de mercancías en las zonas delimitadas como ZBE habiéndose incrementado la compra online tras la pasada pandemia por COVID-19. Se debe garantizar que los servicios pueden seguir efectuando su reparto, evitando aislar partes de la ciudad. Para ello, se proponen diversas medidas: una regulación horaria que permita el reparto durante las horas valle, crear zonas más amplias de carga y descarga como resultado de reducir el número de aparcamientos en vial o cambiar nuestro modelo actual de compra electrónica. Esto último se refiere a la creación de puntos de recogida local que integren a los comercios del barrio o a micro-hubs que depositen o recojan mercancía de un modo óptimo.

Otro foco de atracción de vehículos son las empresas y puestos de trabajo. Para evitar afectar a su desarrollo, el Gobierno ha propuesto unas medidas que vayan en la dirección de movilidad alternativa o compartida. Cada empresa de más de 250 trabajadores tendrá que establecer unas directrices que faciliten, en la medida de lo posible, el teletrabajo, la flexibilización horaria, flota verde o car sharing.

Con independencia de la delimitación de las ZBE, pueden quedar dentro de ella equipamientos educativos. Para evitar generar hándicaps a las familias, desde los propios centros se deberá promocionar los caminos escolares seguros y saludables, el uso del transporte escolar y el uso de bicicletas o patinetes, contribuyendo a crear zonas seguras.

De igual modo, las edificaciones que queden dentro del área delimitada deberán contribuir a reducir sus emisiones. Los sistemas de calefacción o las infraestructuras de recarga eléctrica serán objeto de mejora e implantación tanto en las nuevas construcciones como en las rehabilitaciones. De esta forma, se pretende conseguir una adaptación urbana a los impactos climáticos, frenando efectos como “la isla de calor urbana”. Como medidas complementarias a lo anterior, para lograrlo se plantean intervenciones naturales que creen zonas de sombra incrementando la biodiversidad urbana y mejorando las infraestructuras verdes.

Algunas de las medidas descritas forman parte del programa a desarrollar por otros medios ya existentes que llevan desarrollando su interés por lograr mejoras tanto en el espacio urbano como en la calidad de vida de los habitantes.

III. Coherencia de las ZBE con otros instrumentos existentes.

En lo relativo a los objetivos y medidas a implantar dentro de las ZBE, figuras como los Planes de Calidad del Aire llevan desarrollándose durante un largo tiempo. En este sentido es importante que las ZBE se establezcan teniendo en cuenta la integración y la coherencia con los instrumentos existentes.

Planes como el de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS), ya han ido definiendo una serie de actuaciones en línea con el propósito de las ZBE. Garantizar la mejora de la calidad de vida apostando por alternativas verdes de movilidad, crea una red de dependencia entre los distintos planes como el de Acción contra el ruido. Por consiguiente, todos los instrumentos que aparecen referidos en el gráfico inferior más los que pudiera haber de forma específica para cada municipio, deberán trabajar sus objetivos de manera conjunta al ser dependientes unos de otros.



Gráfico 3. Coherencia de las ZBE con instrumentos ya existentes. Fuente: Directrices para la creación de ZBE. Gobierno de España.

En el caso de la ciudad de Zaragoza, escenario modelo seleccionado para el estudio y análisis de los componentes y criterios susceptibles de la delimitación de las ZBE, existen varios instrumentos que han ido analizando y regulando algunos de los retos establecidos. A lo largo de los últimos años se ha trabajado en una Estrategia de Cambio climático, Calidad del Aire y Salud (ECAZ 3.0). Presenta un eje de actuación ligado a la movilidad sostenible desarrollado a través de 4 medidas que engloban múltiples actuaciones. Entre ellas destacan la renovación del parque de vehículos, la disuasión del vehículo privado, creación de un plan de movilidad eléctrica, peatonalización y protocolo de acción en caso de superación de contaminantes. El plazo que defiende esta estrategia comienza en 2018 y tiene como fecha final el año 2026. Para esta fecha los impactos potenciales a los que se pretende llegar son los siguientes:

- Evitar la emisión de 46.507 tCO₂/año.
- Evitar la emisión de 15,27 tNO_x/año.
- Evitar la emisión de 1,26 tPM₁₀/año.

En paralelo con la ECAZ 3.0, el PMUS de Zaragoza ha estado definiendo el modelo de desplazamiento que tiene lugar en esta ciudad en relación con sus características territoriales. Para cada tipo de desplazamiento se define un diagnóstico que permita establecer un posible origen-destino que informa de los flujos llevados a cabo en el espacio urbano. Estos diagnósticos permiten establecer una relación entre los diferentes modos de desplazamiento y el propio espacio urbano, atendiendo a las posibles necesidades que puedan detectarse y la propuesta de estrategias que ayude a mejorar y a garantizar los objetivos de movilidad hacia un marco más sostenible.





IV. Regulación de accesos

La Dirección General de Tráfico estableció la Orden PCI/810/2018, de 27 de julio, en la que definía la clasificación de los vehículos en virtud de su potencial contaminante. Con esta clasificación se discriminan de forma positiva los vehículos cuyas características son más

respetuosas con el medio ambiente, siendo identificados con los diferentes distintivos ambiental 0, ECO, verde y amarillo.

La decisión de clasificar a los vehículos según su potencial contaminante tiene como objetivo “promover las nuevas tecnologías a través de beneficios fiscales o relativos a la movilidad y el medio ambiente” (Área Metropolitana de Barcelona (AMB); Institut d’Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (IERMB), 2021). Por tanto, se establecen cinco categorías:

Tabla 5. Categorías de vehículos según DGT. Fuente: DGT.

Sin distintivo	Vehículos que no cumplen con los requisitos ambientales considerados mínimos.
	Turismos y furgonetas ligeras de gasolina (posteriores al 2000), y diésel (posterior a 2006). Vehículos >8 plazas y transporte de mercancías gasolina o diésel (posterior a 2005).
	Turismos y furgonetas ligeras de gasolina (posteriores al 2006), y diésel (posterior a 2014). Vehículos >8 plazas y transporte de mercancías gasolina o diésel (posterior a 2014).
	Ciclomotores, motocicletas, turismos, furgonetas ligeras, vehículos >8 plazas y vehículos de transporte de mercancías clasificados en el Registro de Vehículos como vehículos híbridos enchufables con autonomía inferior a 40 km, vehículos híbridos no enchufables vehículos propulsados por gas natural o gas licuado del petróleo.
	Ciclomotores, triciclos, cuadríciclos y motocicletas, turismos, furgonetas ligeras, vehículos >8 plazas y vehículos de transporte de mercancías clasificados en el Registro de Vehículos de la DGT como vehículos eléctricos de batería, vehículos eléctricos de autonomía extensa, vehículos eléctricos híbridos enchufables con una autonomía mínima de 40 kilómetros o vehículos de pila de combustible.

Las restricciones de vehículos según su categoría serán especificadas por cada Ayuntamiento de acuerdo con los criterios que establezcan de cara a mejorar la calidad del aire. Como modelo, el documento del MITECO donde se establecen las directrices de implementación de las ZBE, especifica diversas opciones a la hora de crear criterios de acceso y circulación.

Los vehículos deberán contar con distintivo ambiental colocado en zona visible en función de las categorías antes comentadas. El acceso a las diferentes ZBE irá en función de su distintivo atendiendo a colectivos como taxis, vehículos profesionales de reparto de mercancías o de compras por internet.

En algunas ciudades para evitar perjudicar a los propietarios de vehículos de estas categorías que viven en las zonas delimitadas, se han tomado alternativas de pago de peaje o restricción horaria incluso moratorias para permitir el acceso de estos vehículos contaminantes con carácter excepcional. Alternativa también contempla en las directrices del MITECO subrayando el objetivo de esta: estimular el cambio modal y reducir el volumen de tráfico.

De igual modo, se puede establecer excepciones como accesos por asistencia a personas dependientes, servicios urbanos, personas de movilidad reducida, entre otros.

La experiencia en ciudades que ya han implantado las ZBE han excluido el acceso a los vehículos sin distintivo ambiental o con categoría B como Madrid, pudiendo restringirse el acceso a los vehículos de etiquetas A, B y C. Estas restricciones van a promover que el 32% del parque móvil español deberá actualizarse o dejar de circular por ciertas áreas (Gómez, 2022).

En España encontramos dos ciudades que, debido a su mala calidad del aire, ya han implantado las ZBE. Madrid recalcó la necesidad ya en 2018 de establecer actuaciones urgentes de protección y regulación de las emisiones, debido a registros con altos niveles de polución que suponían un factor de riesgo para la salud de los ciudadanos. Se trata de un claro ejemplo de ciudad que ha ido estableciendo restricciones progresivamente y cuya normativa va a ir siendo más restrictiva hasta lograr los objetivos marcados por la alianza de países en el Acuerdo de París de 2015.

A continuación, se presentan brevemente los casos de Madrid y Barcelona, sus características y las estrategias realizadas por cada ciudad en función de sus necesidades.

Ejemplos de implantación de ZBE en ciudades españolas

Madrid 360

Aprobada el 10 de septiembre de 2021 esta iniciativa define los objetivos perseguidos por el Acuerdo de París de 2015 e identifica las acciones necesarias a implantar para transformar Madrid hacia un modelo de ciudad más sostenible medioambientalmente.

Este plan de acción tiene su origen en Madrid Central, alternativa similar pero menos ambiciosa en términos de superficie delimitada, con entrada en vigor el 30 de noviembre de 2018. Tras la necesidad y obligatoriedad de delimitar ZBE en ciudades con una población superior a 50.000 habitantes, Madrid 360 comienza a establecer unos ejes de actuación que permitan alcanzar los objetivos de un modo progresivo, minimizando el impacto o las repercusiones a los ciudadanos.

Como objetivos específicos define tres:

- Realizar un análisis detallado de la situación que ayuden a identificar los problemas principales y los ámbitos susceptibles de actuación.

- Identificación de los ejes de transformación e iniciativas para poder implementar la estrategia.
- Proponer un modelo que permita la implementación eficaz y eficiente de la estrategia.

La situación de partida de Madrid se desarrolló en un marco en el que el nivel de emisiones se encontraba muy por encima de los valores límites determinados por la OMS y cuyo parque de vehículos, con un alto porcentaje de combustible diésel, superaba la antigüedad media de 9 años (Madrid, 2019).

Teniendo como objetivo principal la reducción de emisiones, la estrategia Madrid 360 establece 6 ejes agrupados en temas de sostenibilidad, eficiencia, tecnología, accesibilidad, globalidad y hábitos para la mejora de la salud. En cada uno de estos ejes se determinan las diferentes actuaciones a realizar para el logro de la estrategia. Entre esas actuaciones se encuentran la mejora del transporte público, transparencia o monitorización de los consumos de las infraestructuras públicas.

Para un mejor seguimiento del grado de cumplimiento, se establecen tres áreas de actuación: la ciudad, la movilidad y la administración. En cada área se definen unos indicadores que determinarán el estado actual de cada una y sus posibles mejoras. En el caso de la ciudad los indicadores indican el número de árboles, las plazas de aparcamientos disuasorios o el total de calderas de carbón y gasóleo entre otros. En el área de movilidad los indicadores determinan el total de km peatonalizados, los puntos de recarga creados o el número de bicicletas del ayuntamiento. Por último, en el área de la administración establecen el porcentaje de vehículos municipales limpios, el alumbrado público con LEDs y el consumo energético de los edificios municipales.

Como ya se ha mencionado al inicio del apartado, esta estrategia se implanta de forma progresiva para minimizar el impacto. Para ello, se han establecido 5 anillos que comprenden áreas territoriales de menor a mayor superficie respectivamente.

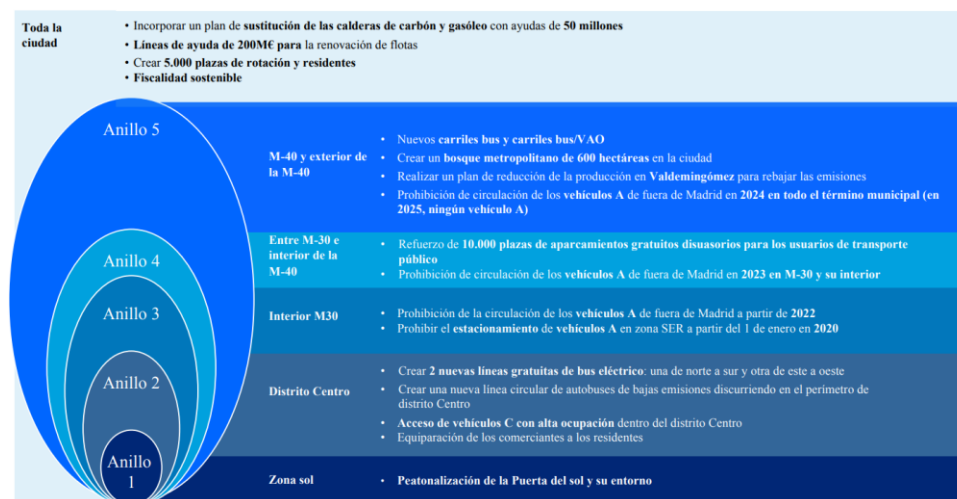


Figura 12. Alcance territorial Madrid 360. Fuente: Informe Madrid 360.

En cada anillo se van regulando un mayor número de agentes que contribuyen a la emisión de contaminantes. De esta forma, permite a los ciudadanos ir adaptándose a los cambios hasta conseguir una ciudad regulada en términos de movilidad y emisiones.

Barcelona ZBE

Al igual que ocurre en Madrid, las grandes ciudades han registrado elevados niveles de contaminación que afectan a la salud de los ciudadanos. En sintonía con otras ciudades europeas, el 1 de enero de 2020 Barcelona activó las ZBE en las rondas.

En este caso el área delimitada tiene una superficie de 95 km² y alberga la ciudad de Barcelona y los municipios que circundan las rondas, convirtiéndose en la ZBE más amplia del sur de Europa (Área Metropolitana de Barcelona (AMB); Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (IERMB), 2021) (Figura 9).

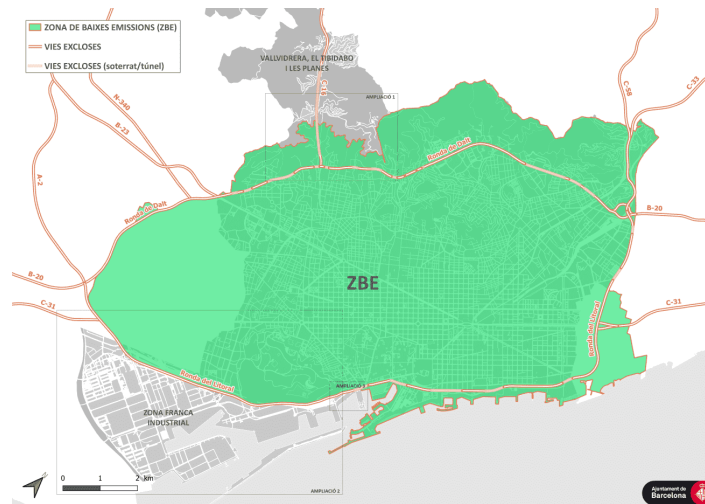


Figura 13. Ámbito delimitado y vías excluidas. Fuente: AMB ZBE de Barcelona.

En el caso de Barcelona se ha optado por implementar las restricciones de acceso a la ZBE de forma progresiva como se ha realizado en Madrid. La diferencia entre ambas ciudades radica en la ambición de Barcelona por querer implantar todas las restricciones antes del 2023, fecha límite estipulada por la Unión Europea. Para ello, el área metropolitana de Barcelona cuenta con varios programas que facilitan el alcance de los objetivos. Entre estos programas podemos encontrar biciempresa, fotolineras, aparcamientos de intercambio metropolitano entre otras. Y de un modo más específico, el área de Barcelona cuenta también con programas como el Plan de Movilidad Urbana, Programa Escuela Respira o la ampliación de la red ciclista.

La ZBE de Barcelona al contar con un recorrido temporal más amplio que en otras ciudades españolas, ha recogido en una guía técnica las actuaciones a realizar basadas en la experiencia real del AMB. Estas actuaciones deberán adaptarse a cada entorno jurídico y social por lo que el documento es presentado como una herramienta práctica modelo.

Como aspecto a destacar, en la guía se presentan modelos de ordenanzas, cartas de aviso y pliegos técnicos que poder servir de plantilla a otras ciudades. De igual modo, Barcelona

presenta una serie de actuaciones a tener en cuenta para monitorizar y realizar un seguimiento de las estrategias implementadas. De esta forma le ha permitido ir adaptando las actuaciones y herramientas según la experiencia y los datos recogidos a lo largo de los años de su implantación.

7. Características de la ZBE para una ciudad como Zaragoza.

Debido a las características comentadas de distribución de la población y la situación de los nuevos barrios dentro de la ciudad, la posible delimitación de ZBE debe tener muy en cuenta estos aspectos. Ejemplos como el de Madrid 360 o Barcelona deben servir como modelo a la hora de entender la implantación de estas zonas según las necesidades de la ciudad.

Como estipula el MITECO en sus directrices, no es obligatorio la creación de una zona exclusivamente continua, existiendo alternativas que puedan adaptarse a la propia morfología de cada ciudad. Para el caso de Zaragoza puede ser necesaria una delimitación que identifique varios núcleos que deban ser tratados con unas regulaciones específicas para cada zona. En consecuencia, pueden darse determinados episodios dentro de la ciudad que puedan llegar a demandar medidas o regulaciones de carácter temporal.

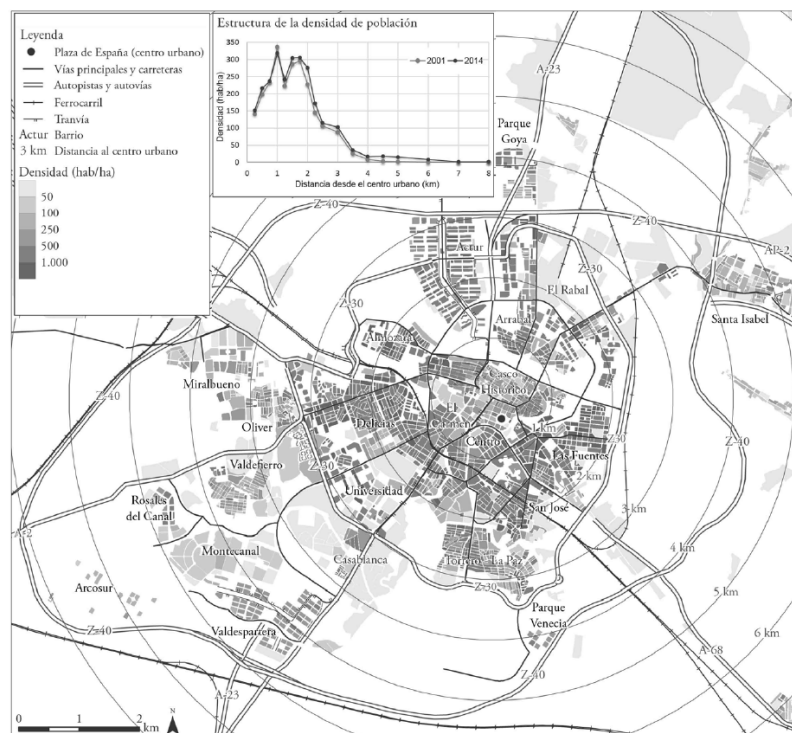


Figura 14. Estructura de la densidad de población: coronas en torno al centro urbano 250 m de radio. 2001-2014. Fuente: Artículo de Escolano-Utrilla, López-Escola y Pueyo-Campo, *Urbanismo neoliberal y fragmentación urbana*, 2018.

Para determinar las posibles delimitaciones o restricciones necesarias a implantar en Zaragoza, se ha de realizar un análisis que atienda las características demográficas, de movilidad y de servicios existentes. Por este motivo, para su estudio y posteriores resultados, se ha trabajado

con la metodología ACP que ha permitido establecer relaciones entre las diferentes variables que definen la ciudad.

8. Resultados

Análisis estadísticos

Una vez realizado el proceso de ACP, la información se ha sintetizado dando como resultado 6 componentes principales. Cada componente cuenta con un coeficiente de correlación entre variables y un signo (positivo o negativo) que determina la dirección del vector.

Los CP trabajados están compuestos por aquellas variables que contengan un coeficiente de relación mayor de 0,30, a excepción de algunos casos cuyo coeficiente de relación se ha tomado por debajo de este valor, siendo el valor mínimo 0,22 por representar información que ayude a interpretar el componente de una forma más completa. En consecuencia, se ha analizado la distribución espacial y el signo de relación de cada variable dentro de su CP asignado. El signo positivo representa mayor susceptibilidad de ser regulado o delimitado y viceversa (Rodríguez Mimbrero, Martín, & Zúñiga-Antón, 2017).

La combinación de los 6 ejes dará como resultado el indicador final buscado que facilitará la comprensión de las relaciones establecidas entre las variables.

En la siguiente tabla presentada a continuación, se muestra el resultado de los CP obtenidos a través del proceso de ACP con las variables que conforman cada CP, su coeficiente de correlación y el signo del vector.

Tabla 6. Variables trabajadas para la realización del PCA. Fuente: elaboración propia

PC	Varianza %	Componente	Signo	Variables	Correlación	Dominio
1	48%	Congestión de circulación	-	Media de ciclomotor	-0.34	Agentes generadores
				Media de furgoneta	-0.34	
				Media de turismos	-0.34	
				Media de moto	-0.33	
				Población	-0.32	
				Media de camión	-0.31	
				Media de vehículos por manzana	-0.31	
				Aparcamiento en vial	-0.20	

2	15%	Puntos con problemas de circulación	+	Media de autobuses	-0.43	Agentes generadores
				Carriles pacificados	-0.39	
				Aforos tráfico cobertura	0.32	
				Accidentes tráfico 2018	0.31	
				Locales comerciales	0.31	
				Accidentes tráfico 2019	0.29	
				Media de camión	-0.24	
3	10%	Concentración de servicios para el vehículo	+	Gasolineras	0.47	Agentes generadores
				Estaciones de servicio	0.46	
				Aparcamiento público regulado	0.39	
				Aparcamientos en moto	0.26	
4	10%	Equipamientos educativos	-	Eq. Educación Secundaria	0.35	Agentes afectados
				Eq. Educación Primaria	0.33	
				Estaciones de servicio	0.30	
				Carriles pacificados	0.28	
				Aparcamiento bicicletas	0.28	
				Gasolineras	0.24	
				Media de autobuses	0.24	
Aparcamiento público regulado	0.22					
5	9%	Equipamientos educativos	+	Eq. Educación Secundaria	0.38	Agentes afectados
				Eq. Educación Primaria	0.36	
				Aparcamientos en moto	0.34	
				Gasolineras	-0.28	
				Carril bici unidireccional	-0.27	
				Estaciones de servicio	-0.25	
				Media de autobuses	-0.25	
Aparcamiento en vial	0.24					
6	8%	Equipamientos educativos	+	Aparcamiento Bizi Zaragoza	-0.38	Agentes mitigantes
				Eq. Educación Primaria	0.36	
				Zonas Verdes	-0.33	
				Paradas de tranvía	-0.32	
				Eq. Educación Secundaria	0.32	
				Aparcamiento bicicletas	-0.26	
				Aparcamiento en vial	-0.23	
Paradas de autobús	0.22					

Componente 1 se ha denominado “congestión de circulación” y está formado por las ocho variables que aparecen indicadas en la tabla anterior. Representa la densidad de vehículos registrados en una sección censal en relación con la densidad de población censada. Su índice de desviación estándar es el mayor con un 2,81 y una proporción de varianza del 0,25. El signo correlativo es negativo. Por sus características, este CP queda recogido dentro de los agentes generadores de polución. (Anexo 2)

Componente 2, “puntos con problemas de circulación”, recoge los datos referentes a accidentes de tráfico durante los años 2018-2019, periodo concreto al presentar una consistencia temporal y como variable destacable los locales comerciales. Éstos últimos son generadores de atracción de personas, por lo que es importante analizar la relación existente entre ellos y variables como flujos de tráfico. (Anexo 3)

Componente 3, “concentración de servicios para el vehículo” formado por las variables asociadas a la existencia de este tipo de servicios, pudiendo establecer una relación entre estas zonas y el nivel de tráfico. (Anexo 4)

Componente 4 al 6, se engloban dentro de los equipamientos educativos, áreas también clave de ser protegidas frente a las emisiones y la circulación. En concreto, el CP 4 representa las zonas donde existe o no una alternativa verde al vehículo para acceder a los centros educativos. El CP5, muestra las zonas cuya accesibilidad es limitada a dichos centros. Por último, el CP6 representa las zonas donde el acceso mediante bicicleta es deficiente, pero cuentan con la alternativa del transporte público. (Anexo 5-7)

Patrón de distribución espacial

Como resultado la agregación de los 6 CP ponderados se ha obtenido el indicador final denominado Indicador de Susceptibilidad (IS). Para completar el indicador se han calculado las desviaciones estándar y los coeficientes de variación que han permitido identificar la dispersión de los valores ponderados.

Este indicador representado gráficamente permitirá identificar en qué áreas tiene lugar una relación estadística de sus componentes y en cuál esa relación es inexistente o débil. De esta forma, permitirá el estudio de las posibles zonas que presenten un alto grado de susceptibilidad para ser reguladas.

Gracias a la visión global de los posibles patrones de comportamiento del indicador IS, se han podido establecer las áreas que presentan un mayor nivel de susceptibilidad.

Para su estudio, se han establecido tres escenarios posibles:

- Escenario 1-H1-. El análisis y la representación del indicador IS se ha realizado sumando a cada CP el signo que el proceso de ACP le ha asignado. En este escenario se identifican las áreas que presentan una relación estadística mayor.
- Escenario 2-H2-. A los CP del indicador general se le ha dado una ponderación según el criterio definido por las directrices marcadas por el documento del MI-TECO. Este escenario analiza la hipótesis 2 donde se analiza la relación existente entre los factores de densidad de tráfico y zonas comerciales.
- Escenario 3- H3-. Cada CP se ha ponderado en función de los factores relevantes según los resultados de la implantación de ZBE en otras ciudades. De esta forma,

se estudia la hipótesis 3, donde se destaca la relación positiva entre la existencia de los centros educativos y su accesibilidad sostenible.

Tras la obtención del indicador general (IS), se ha trabajado a través del mapeado los diferentes CP mediante un esquema secuencial que los organiza en función de su varianza. La representación de los CP se ha realizado utilizando el método de clasificación por desviación estándar.

9. Discusión

Los siguientes mapas representan cada uno de los tres escenarios anteriormente definidos para cada hipótesis planteada. Para la representación gráfica de las hipótesis se ha optado por utilizar una cartografía cuantitativa a través de mapas de coropletas. Esto ha permitido representar información discreta asociada a las secciones censales de Zaragoza. De esta forma, facilita la identificación de una posible zona a delimitar.

Para el estudio de la primera hipótesis -1-, se ha analizado mediante la ponderación de cada CP en función del marco normativo que sigue el documento de directrices. El resultado de la ponderación otorga mayor peso al CP1 por representar zonas congestionadas que guardan relación con la existencia de zonas comerciales. El resto de los componentes han sido ponderados con el mismo peso.

El resultado obtenido en este escenario identifica dos zonas que destacan por los altos niveles clúster entre variables. Estas zonas corresponden con los barrios de Las Fuentes y Delicias. Algunas zonas del resto de la ciudad también presentan áreas destacables como es parte del Rabal y algunas zonas de San José. Estas zonas muestran en la actualidad problemas de movilidad debido a la elevada densidad de población por sección censal de estas zonas y al número de vehículos registrados como puede observarse en el Anexo 2- CP1-.

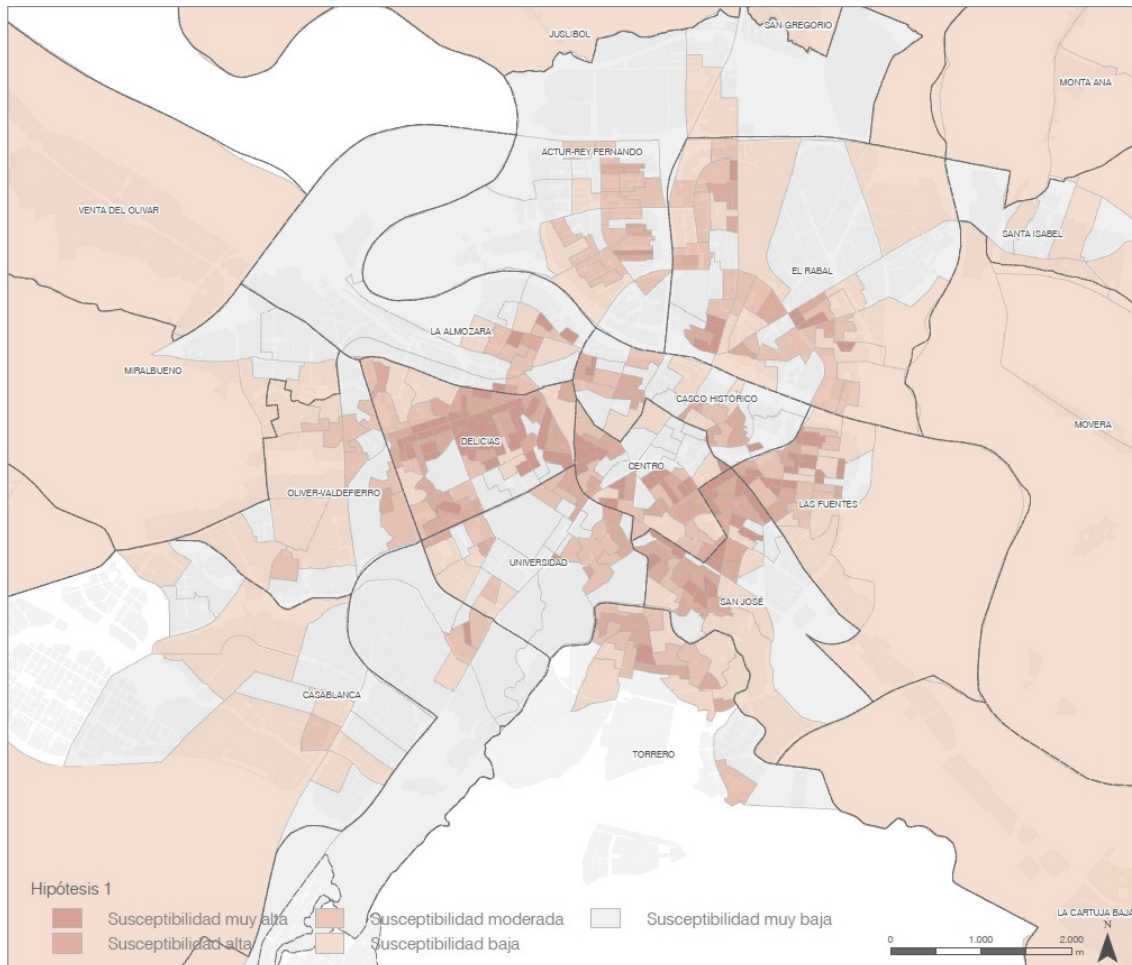


Figura 15. Hipótesis 1. Fuente: elaboración propia

Para el estudio de la segunda hipótesis se ha ponderado cada CP en función del predominio establecido como resultado de la implantación de las ZBE en otras ciudades (Figura 16). La información analizada es el resultado del estudio del documento técnico facilitado por el ayuntamiento de Barcelona como guía para establecer las ZBE en base a las experiencias de la ciudad. Por tanto, se han ponderado con mayor valor el CP 4 compuesta por variables que ponen en relación las zonas con centros educativos y buena accesibilidad sostenible. Según ponderación el siguiente CP es el 1 donde las zonas con mayor densidad de vehículos y población pueden presentar mayor susceptibilidad. Por último y con idéntico valor, se han ponderado los CP 2,3, 5 y 6. El patrón espacial identifica que las áreas de los barrios Delicias y Las Fuentes tienen un alto grado de clúster a diferencia de los barrios Universidad o Casco Histórico cuya relación estadística es débil.

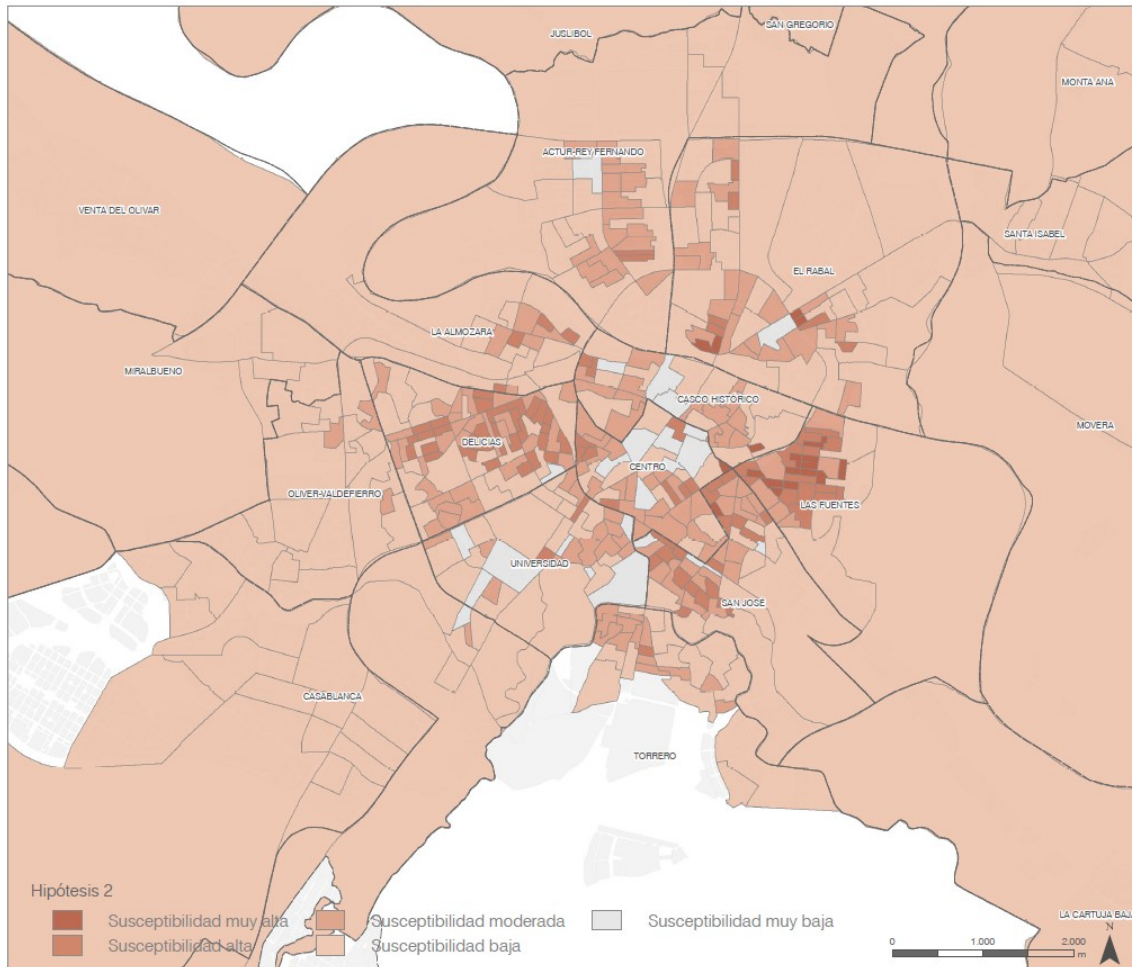


Figura 16. Hipótesis 2. Fuente: elaboración propia.

Tantos las zonas que corresponden a los barrios de Delicias y Las Fuentes han destacado en los tres escenarios estudiados. Las características de su población, las conexiones mediante transporte público con el resto de la ciudad y la ausencia de alternativas al vehículo privado han propiciado que sea una zona estratégica para implantar algunas medidas regulatorias.

Para el estudio de la hipótesis 3 se ha analizado mediante la suma a cada CP de su signo (Figura 17). De esta forma el CP 1 con signo negativo representa las áreas donde, cuanto mayor sea la intensidad del valor de sus variables, menor será el índice de movilidad de la zona, al tratarse de variables que no favorecen la seguridad vial o la alternativa verde al vehículo privado. El CP 2 con signo positivo, queda recogido dentro de los agentes generadores ya que cuanto mayor sea el valor del CP mayor será el IS. El CP 3 también con signo positivo establece que cuanto mayor sea la concentración de estos servicios al vehículo mayor será su relación con el IS al tratarse de zonas que no son susceptibles de necesitar una regulación. En cuanto al CP 4 con signo negativo al ser áreas con un alto grado de regulación. El CP 5 y el CP 6 presentan un signo positivo.

En este escenario se observa como algunas zonas de los barrios de Delicias y San José principalmente, presentan un nivel crítico de susceptibilidad. El resultado muestra cómo los barrios con altas densidades de población y comercios son focos de desplazamientos que, en ocasiones, pueden estar desconectadas o con conexiones deficientes del resto de la ciudad siendo el transporte privado una de las preferencias de desplazamiento.

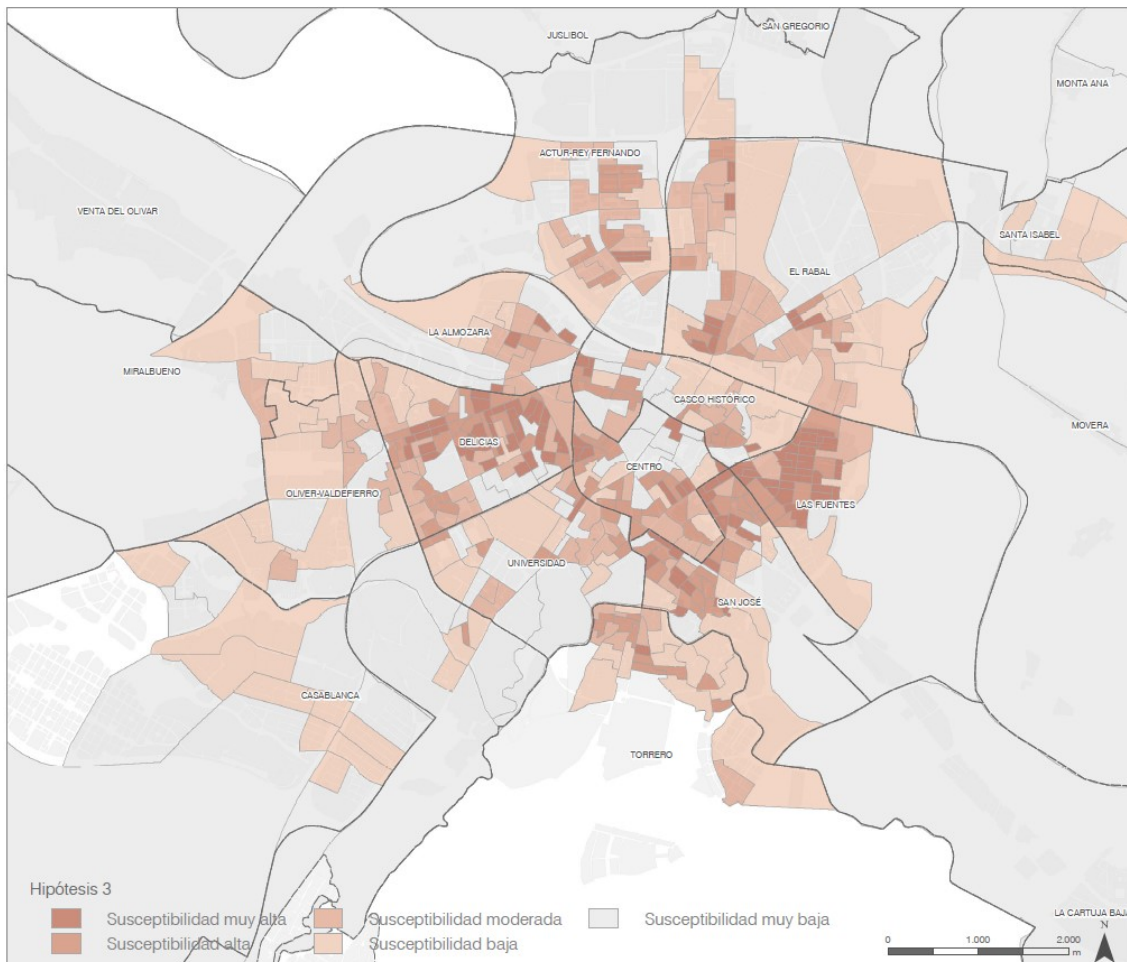


Figura 17. Hipótesis 3 Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para la lectura global de los indicadores, se ha realizado un mapa final en el que quedan representadas las principales áreas que deben ser reguladas, analizando el patrón espacial de los índices mediante el uso de *Anselin's Local Morans's*, reescalando los indicadores de 0-1. Este análisis permite identificar si las relaciones que se han obtenido como resultado tienen una relación estadística destacable o tienen un enfoque estadístico diferente. Es decir, facilita el estudio del comportamiento espacial de cada componente. Para la representación de este mapa se ha optado por un esquema de color cualitativo que representa mediante el color verde las relaciones con un alto grado de clúster, en amarillo las relaciones intermedias y en rojo las relaciones débiles o nulas.

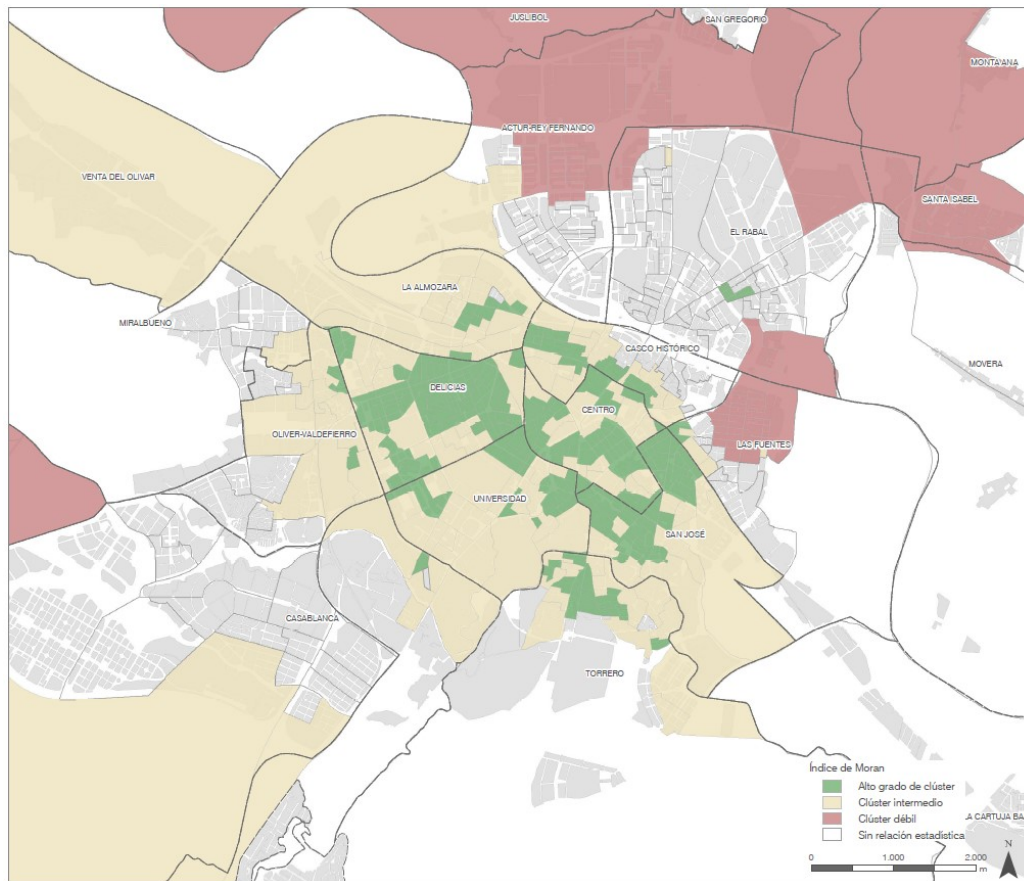


Figura 18. Representación del Índice de Morans del Indicador de Susceptibilidad (IS). Fuente: elaboración propia.

Habiendo calculado el Índice de *Morans*, se ha obtenido como resultado que menos del 1% del patrón de agregación utilizado para la representación del mapa y el consiguiente estudio, sea resultado de una relación de casualidad. Por tanto, existen suficiente evidencia estadística para afirmar que el indicador de susceptibilidad sigue un patrón de distribución agregado.

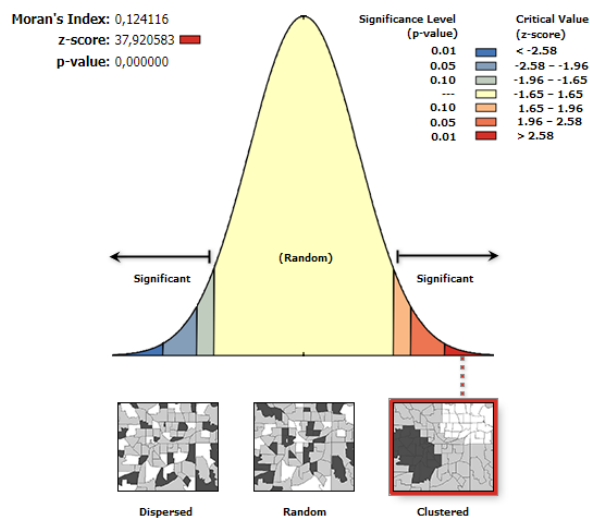


Figura 19. Resultado del análisis espacial de autocorrelación estadística. Índice de Morans. Fuente: Informe de ArcMap mediante los datos trabajados.

10. Conclusiones

Atendiendo a la obligatoriedad de crear ZBE por parte de la Ley de cambio climático y transición energética, Zaragoza ha sido considerada como caso de estudio. Sus características hacen que sea una ciudad modelo de actuación, por lo que la implantación de una zona de bajas emisiones puede servir de antesala para la implementación de sus aspectos positivos en otras ciudades españolas.

En adición a lo anterior, si sumamos que esta ciudad cuenta con un proyecto creado en 2018 denominado Mobility City y que posiciona a Zaragoza como “foco de conocimiento, economía y de desarrollo de movilidad destacable” (López-Escolano & Pueyo Campos, 2019), es fundamental que la ciudad siga creciendo y progresando en la línea de la movilidad sostenible.

El compromiso por parte de toda la alianza de países del Acuerdo de París de 2015 de conseguir reducir las emisiones y con ello, los efectos del cambio climático, hace ineludible el compromiso por parte de Zaragoza de apostar por ello. La delimitación de las ZBE es una estrategia que va a permitir regular e impulsar un nuevo modelo de movilidad que sea más sostenible. Las restricciones y la tendencia hacia el uso de automóviles más limpios y autónomos van a impulsar a las industrias de fabricación hacia la innovación y la investigación. Por tanto, no se tratan de actuaciones aisladas, si no un cambio global a través de estrategias interrelacionadas que favorezcan y ayuden a alcanzar niveles de calidad de vida necesarios.

Por este motivo, este Trabajo Fin de Máster ha estudiado unos posibles factores que condicionan la calidad del aire de la ciudad. La representación gráfica de estos valores y las diferentes combinaciones entre ellos nos han dado una imagen nítida de la ciudad: existen varias zonas discontinuas que son susceptibles de ser reguladas o delimitadas por sus altos valores del indicador analizado. Pese a poder considerarse como zonas discontinuas en cuanto a una posible regulación, ya que cada área tiene unas necesidades propias, la lectura completa de los resultados define un eje de este-oeste en Zaragoza que presenta mayor riesgo.

El crecimiento desregular de la ciudad y poco ordenado y la priorización del vehículo frente a modos de desplazamiento más sostenibles, ha llevado a estas zonas a ser focos de conflictos y congestión. Por tanto, se puede confirmar la necesidad de establecer una estrategia que permita avanzar en la línea que ha establecido Europa para conseguir los objetivos medioambientales.

Varias ciudades españolas como Madrid o Barcelona ya han avanzado y han establecido estas ZBE al detectar niveles de contaminación que podían suponer un riesgo para la población. La dificultad que trae consigo los cambios hace que su implantación requiera de un mayor esfuerzo por parte de la administración y los ciudadanos. Por tanto, se han de establecer estrategias que permitan dar a conocer a la población las necesidades que tienen las ciudades y cómo afecta

el modelo vital actual a la calidad de vida de cada habitante. La transparencia a través del intercambio y la presentación de los datos que se van recogiendo a los ciudadanos, puede convertirse en un punto fuerte de la estrategia de ZBE.

Como ciudadanos debemos ser conscientes de la necesidad de cambiar la forma de desplazarnos y para ello, la administración debe ofrecer las garantías y los medios que hagan posible una movilidad sostenible.

Como conclusión, las ZBE no deben entenderse como algo impuesto si no como una estrategia necesaria y flexible en el tiempo, que ha de ir adaptándose a las necesidades actuales y futuras de la ciudad. Por tanto, siendo su objetivo la mejora de la calidad del aire y como consecuencia la calidad de vida de los habitantes de la ciudad en particular, las delimitaciones o las regulaciones de áreas van a permitir seguir desarrollando y transformando las ciudades en aras del medioambiente y la mejora de la calidad de vida.

Para poder evaluar los efectos de las regulaciones establecidas, el documento generado por el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, Directrices para la creación de ZBE determinada unas posibles herramientas. En este documento se determina la necesidad de realizar un seguimiento que permita comprobar el grado de cumplimiento de los objetivos definidos por las ZBE. Para ello, se propone realizar mediante indicadores de calidad de aire un seguimiento de los valores en comparación con periodos anteriores a la delimitación. De igual modo establece unos indicadores que midan el cambio climático y la movilidad sostenible. En este caso, se plantea la cuantificación de los usos realizados tanto en transporte público, en bicicleta o el tráfico rodado con vehículo privado. El registro permitirá poner en relación el nivel de ruido existente antes y después de la zonificación, contribuyendo a la mejora de calidad de vida de los habitantes de esa área.

Para ir acorde con los progresos digitales, autores como Javier Gutiérrez Puebla ya han hecho uso de herramientas tecnológicas que permiten el seguimiento de las actuaciones de una forma remota y digital. En su caso, Gutiérrez Puebla trabaja junto a una operadora telefónica en el registro anónimo de teléfonos móviles para conocer la posición geográfica de los usuarios en determinados momentos del día. Los resultados, previamente procesados, muestran patrones de movilidad y actividad que pueden resultar muy útiles para definir actuaciones dentro de la ciudad (VV.AA, 2021).

La introducción de nuevos aspectos tecnológicos ha ido permitiendo fomentar alternativas al modelo de desplazamiento actual. Un ejemplo es la incorporación de un sistema en red que permite a través de una aplicación la planificación de un trayecto en función de los medios disponibles, como pueden ser patinetes eléctricos, bicicletas o motos eléctricas. “Conocer su disponibilidad, localización y la gestión de un sistema de pago rápido y realizable a través de un

smartphone, ha facilitado su completa integración en el modo en cómo nos desplazamos” (López-Escolano & Pueyo Campos, 2019). Si con ello recogemos y analizamos los datos extraíbles de esas aplicaciones, van a facilitar que exista una planificación en base a las necesidades de los habitantes.

En Zaragoza ya existen herramientas que trabajan en esa dirección. En concreto, el Consorcio de Transportes de Zaragoza (CTAZ) y el Ayuntamiento de Zaragoza están desarrollando una plataforma digital que integre todos los servicios de movilidad sostenible de la ciudad y su área metropolitana. La plataforma se denomina MaaS (*Mobility as a Service*) y se espera que entre en funcionamiento antes del año 2024. En ella se mostrará información sobre el transporte público, compartido y el aparcamiento. Todo ello va a permitir planificar de forma previa los desplazamientos de los usuarios, así como reservar un servicio o su pago inmediato desde el dispositivo móvil (CTAZ, 2022).

La puesta en funcionamiento de este tipo de herramientas digitales puede favorecer que las ZBE queden integradas dentro de la ciudad sin llegar a ser “islas”. De igual modo, la importancia de conocer la eficacia de las delimitaciones propuestas exige una monitorización y un seguimiento de las regulaciones implantadas. Las ZBE deben considerarse como áreas susceptibles de modificación en el tiempo, siendo objeto de continuos análisis que permitan ir estudiando en tiempo real su funcionamiento. En particular, las regulaciones y ordenanzas que se establezcan dentro de estas zonas deberán ser examinadas y revisadas en periodos de tiempo establecidos por la administración en aras de ajustarse a las exigencias de cada área.

Por tanto, debido a la importancia de realizar un seguimiento de estas zonas unido, a la complejidad y variedad de instrumentos que puedan ser utilizados para ello, se propone como futura segunda fase de este Trabajo Fin de Máster la realización de un estudio que permita determinar la idoneidad de instrumentos que mejor se adapten.

11. Bibliografía

- Ambiente, A. E. (2012). *Agencia Europea de Medio Ambiente*. Obtenido de Muertes prematuras atribuibles a la contaminación atmosférica: <https://www.eea.europa.eu/es/pressroom/newsreleases/muchos-europeos-siguen-expuestos-a-muertes-prematuras-atribuibles-a-la>
- Área Metropolitana de Barcelona (AMB); Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (IERMB). (2021). *Guía técnica para la implementación de zonas de bajas emisiones*. Barcelona: Área Metropolitana de Barcelona (AMB).
- CE. (Octubre de 2016). *Estrategia europea a favor de la movilidad de bajas emisiones*. Obtenido de Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52016DC0501&from=LV>
- Colville-Andersen, M. (2018). *Copenhagenize*. Washington, DC: Island Press,.
- CTAZ. (5 de Noviembre de 2022). *Consorcio de Transportes de Zaragoza*. Obtenido de Una plataforma digital integrará todos los servicios de movilidad sostenible de Zaragoza y su entorno: <https://www.consorciozaragoza.es/content/una-plataforma-digital-integrar%C3%A1-todos-los-servicios-de-movilidad-sostenible-de-zaragoza-y#overlay-context=content/portada>
- 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*, 183-210.
- Europeo, P. (Octubre de 2022). *Noticias Parlamento Europeo*. Obtenido de Emisiones de CO2 de los coches: hechos y cifras (infografía): <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>
- Fundación CIRCE y Ayuntamiento de Zaragoza. (2019). *Estrategia de Cambio Climático, Calidad del Aire y Salud de Zaragoza ECAZ 3.0*. Zaragoza: Ayuntamiento de Zaragoza.
- Gómez, N. U. (4 de Noviembre de 2022). Aviso de la DGT: esto es lo que pasará con los coches con etiqueta A, B y C en 2023. *The Objective*.
- IDAE. (Octubre de 2022). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de <https://www.movilidad-idae.es/destacados/emisiones-de-co2-por-modos-de-transporte-motorizado>
- Instituto Nacional de Estadística*. (Julio de 2022). Recuperado el 2022, de Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero: <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2911>

- Kaiser, H. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151.
- L.L. (28 de octubre de 2022). Ribera descarta retrasar las zonas de bajas emisiones. *Heraldo de Aragón*.
- López-Escolano, C., & Pueyo Campos, Á. (2019). Les mobilités émergentes après la Grande Récession: du vélo partagé à la trottinette électrique. Le cas de la ville de Saragosse. *Belgeo. Revue belge de géographie*, 1-21.
- Madrid, A. d. (2019). *Madrid 360. Avance de la estrategia de sostenibilidad ambiental*. Madrid.
- MITECO. (2020). *Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050*. Madrid: MITECO.
- MITECO. (2021). *Directrices para la creación de zonas de bajas emisiones (ZBE)*. Madrid: Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado.
- Pueyo-Campos, Á., López-Escolano, C., & Escolano-Utrilla, S. (2018). Urbanismo neoliberal y fragmentación urbana: el caso de Zaragoza (España) en los primeros quince años del siglo XXI. *EURE*, 183-210.
- Rodrigues Mimbbrero, M., Martín, Y., & Zúñiga-Antón, M. (2017). Community vulnerability to hazards: introducing local expert knowledge into the equation. *Springer Science+Business Media B.V.*, 367-386.
- Ruiz Varona, A. (2022). *Mobility Experience. Investigación, innovación y difusión en movilidad*. Zaragoza: Colección arquitectura/coincidencias.
- Shoup, D. (2011). *The High Cost of Free Parking*. Routledge.
- Sperling, D. (2018). *Three Revolutions: Steering Automated, Shared, and Electric Vehicles to a Better Future*. Island Press.
- Tögel, M., & Špička, L. (2014). Low-Emission Zones in European Countries. *Transactions on transport sciences*, 97-108.
- UNISDR. (2017). *National Disaster Risk Assessment*. Suiza: Publicaciones UNISDR.
- Urbana, S. d. (27 de julio de 2022). *Ayuntamiento de Zaragoza*. Obtenido de Los patinetes eléctricos de Bolt se incorporan desde este fin de semana al mapa de la movilidad compartida en Zaragoza: <https://www.zaragoza.es/sede/servicio/noticia/312743>
- Varona, A. R. (2018). Reseña: Three revolutions: Steering automated, shared, and electric vehicles to a better future. *Boletín de la Asociación Española de Geografía (BAGE 82)*, 1-4.
- VV.AA. (2021). The city turned off: Urban dynamics during the COVID-19 pandemic based on mobile phone data. *Elsevier*, 1-14.

12. Índice de figuras, tablas y gráficos

Índice de figuras

FIGURA 1. AÑOS DE VIDA PERDIDOS POR 100 000 HABITANTES ATRIBUIDOS A PM2.5 AND NO2 (2018). FUENTE: AGENCIA EUROPEA DE MEDIOAMBIENTE.....	6
FIGURA 2. EMISIONES DE CO2 EN LA UE DESDE 1990-2019. FUENTE: AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE, 2022.....	7
FIGURA 3. ACCIDENTES EN 2017. FUENTE: PLAN DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE	7
FIGURA 4. LA ARROGANCIA DEL ESPACIO EN PARÍS. MAPEO DE CUÁNTOS ESPACIOS SON OCUPADOS POR CADA TIPO DE USUARIOS DE MOVILIDAD. ESTAS INTERSECCIONES CENTRADAS EN EL AUTOMÓVIL PUEDEN MODERNIZARSE. FUENTE: COPENHAGENIZE.	8
FIGURA 5. BREVE HISTORIA DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO. FUENTE: COPENHAGENIZE.	8
FIGURA 6. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE PROXIMIDAD DE LA POBLACIÓN A LAS ZVU PARA 150 METROS EN 2020. FUENTE: BOLEA, POSTIGO Y LÓPEZ-ESCOLANO (2020).	16
FIGURA 7. RED DE ITINERARIOS MOVILIDAD SUPRACCESIBLES. FUENTE: PMUS.....	16
FIGURA 8. MOVILIDAD SOSTENIBLE Y TRANSPORTE. FUENTE: MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, 2020.	20
FIGURA 9. EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO ₂ DE LOS TURISMOS NUEVOS. FUENTE: DGT, 2017, MINISTERIO DEL INTERIOR.....	21
FIGURA 10. LA PIRÁMIDE DE LA MOVILIDAD URBANA. FUENTE: IDAE, 2022. DIRECTRICES PARA LA CREACIÓN DE LA DELIMITACIÓN.....	22
FIGURA 11. TIPOS DE ZBE. FUENTE: DIRECTRICES PARA LA CREACIÓN DE ZBE. GOBIERNO DE ESPAÑA.....	23
FIGURA 12. ALCANCE TERRITORIAL MADRID 360. FUENTE: INFORME MADRID 360.	29
FIGURA 13. ÁMBITO DELIMITADO Y VÍAS EXCLUIDAS. FUENTE: AMB ZBE DE BARCELONA.....	30
FIGURA 14. ESTRUCTURA DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN: CORONAS EN TORNO AL CENTRO URBANO 250 M DE RADIO. 2001-2014. FUENTE: ARTÍCULO DE ESCOLANO-UTRILLA, LÓPEZ-ESCOLA Y PUEYO-CAMPO, URBANISMO NEOLIBERAL Y FRAGMENTACIÓN URBANA, 2018.	31
FIGURA 15. HIPÓTESIS 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	36
FIGURA 16. HIPÓTESIS 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	37
FIGURA 17. HIPÓTESIS 3 . FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	38
FIGURA 18. REPRESENTACIÓN DEL ÍNDICE DE MORANS DEL INDICADOR DE SUSCEPTIBILIDAD (IS). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	39
FIGURA 19. RESULTADO DEL ANÁLISIS ESPACIAL DE AUTOCORRELACIÓN ESTADÍSTICA. ÍNDICE DE MORANS. FUENTE: INFORME DE ArcMAP MEDIANTE LOS DATOS TRABAJADOS.....	39
FIGURA 20. ESTRATEGIA DE DESCARBONIZACIÓN, 2050. FUENTE: MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, 2020.....	48

Índice de tablas

TABLA 1. PREFERENCIA DE DESPLAZAMIENTOS PARA EL PERIODO DE 2007-2017. FUENTE: AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA.	15
TABLA 2. VALORES LÍMITE DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES RECOMENDADOS POR LA OMS. FUENTE: ECAZ3.0....	19
TABLA 3. VALORES DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES RECOGIDOS POR EL AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA PARA EL AÑO 2021. FUENTE: SITUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE ZARAGOZA, 2021.	19
TABLA 4. TIPOS DE ZBE. FUENTE: DIRECTRICES PARA LA CREACIÓN DE ZBE. GOBIERNO DE ESPAÑA.	23
TABLA 5. CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS SEGÚN DGT. FUENTE: DGT.....	27
TABLA 6. VARIABLES TRABAJADAS PARA LA REALIZACIÓN DEL PCA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	32

Índice de gráficos

GRÁFICO 1. FLUJO DE TRABAJO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	11
GRÁFICO 2. PREFERENCIA DE USO ENTRE PATINETE Y BICICLETA DE ALQUILER Y BIZI. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS FACILITADOS POR EL AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA.....	15
GRÁFICO 3. COHERENCIA DE LAS ZBE CON INSTRUMENTOS YA EXISTENTES. FUENTE: DIRECTRICES PARA LA CREACIÓN DE ZBE. GOBIERNO DE ESPAÑA.	26

13. Anexos

Anexo 1. Estrategia de descarbonización a Largo Plazo.

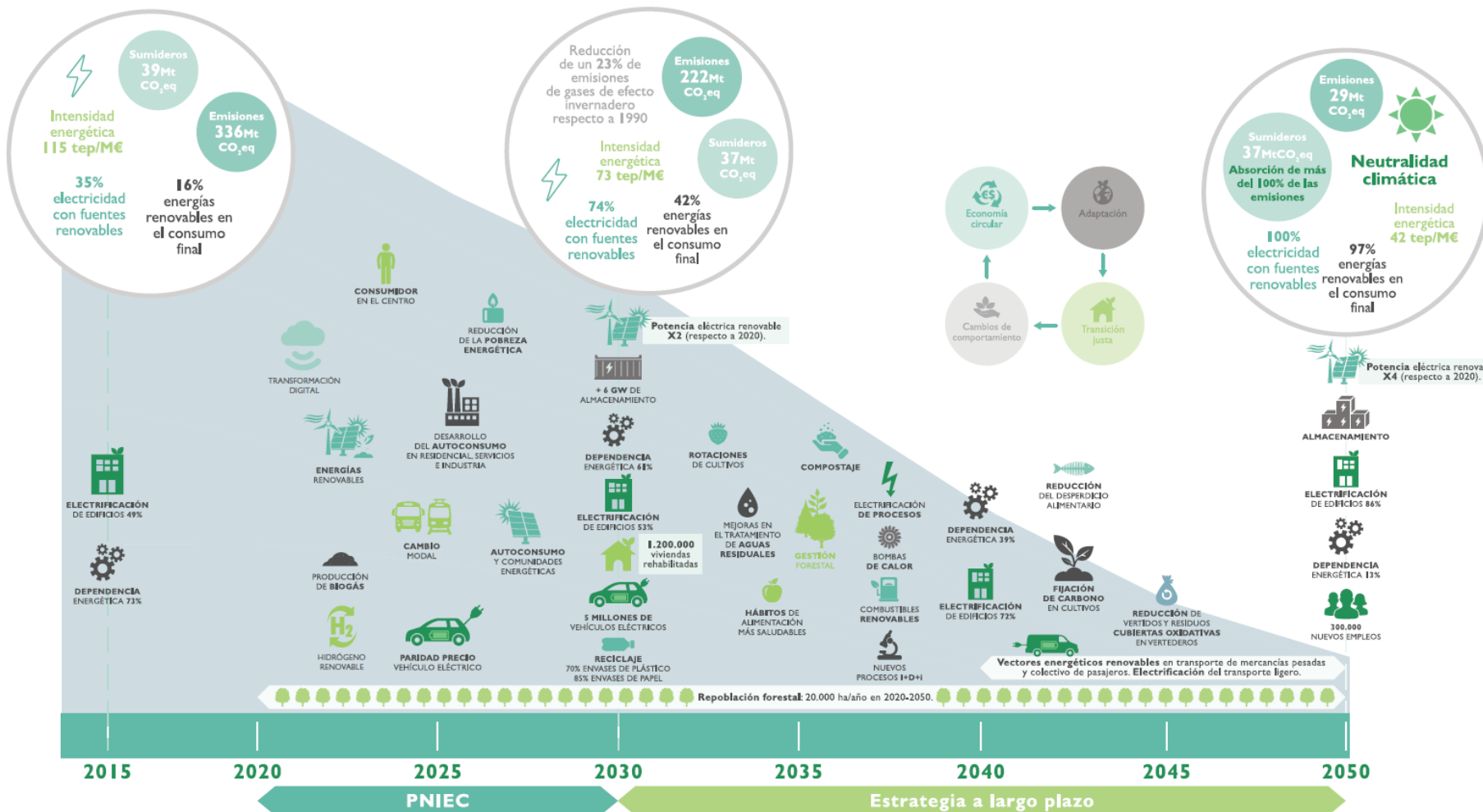
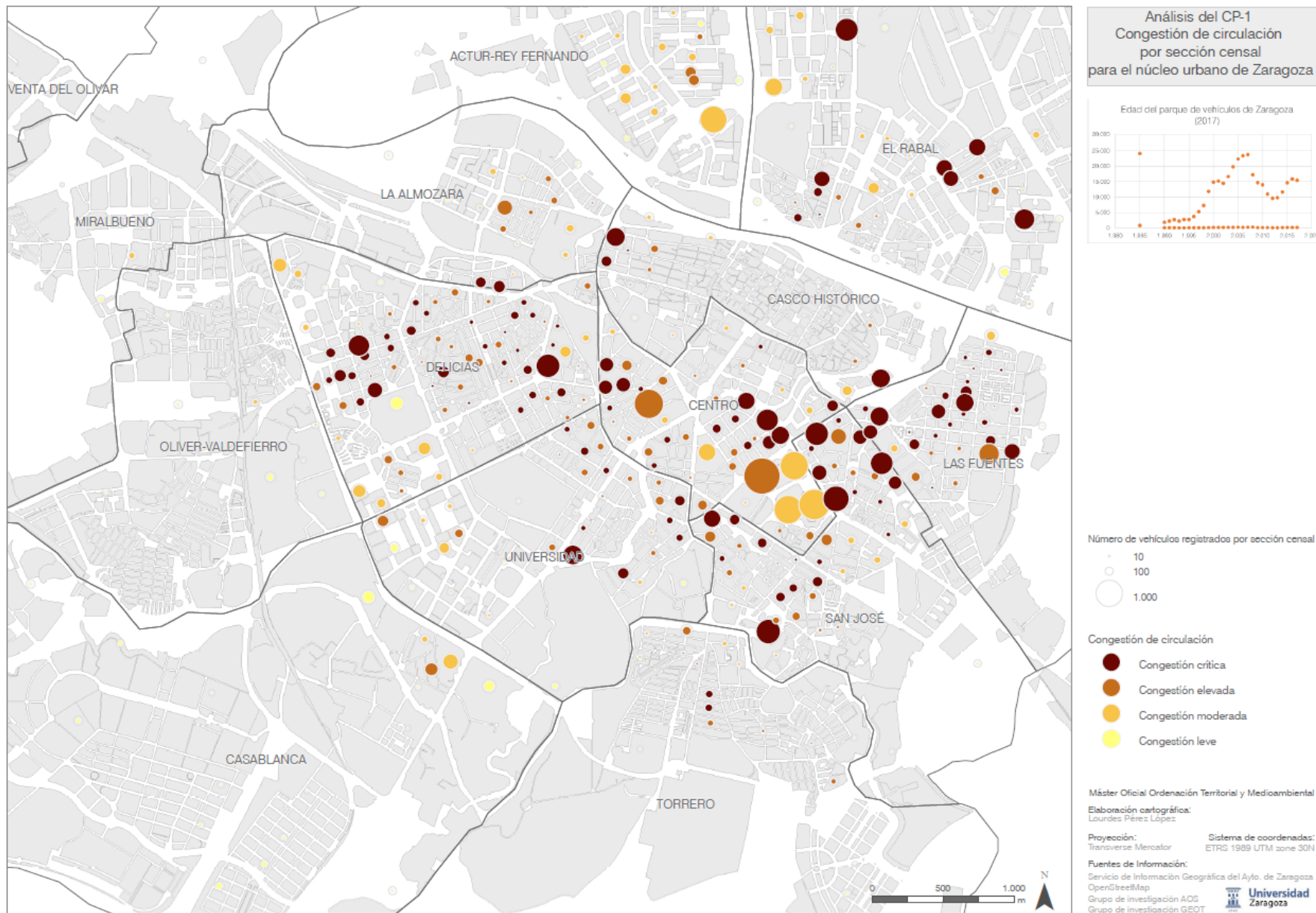
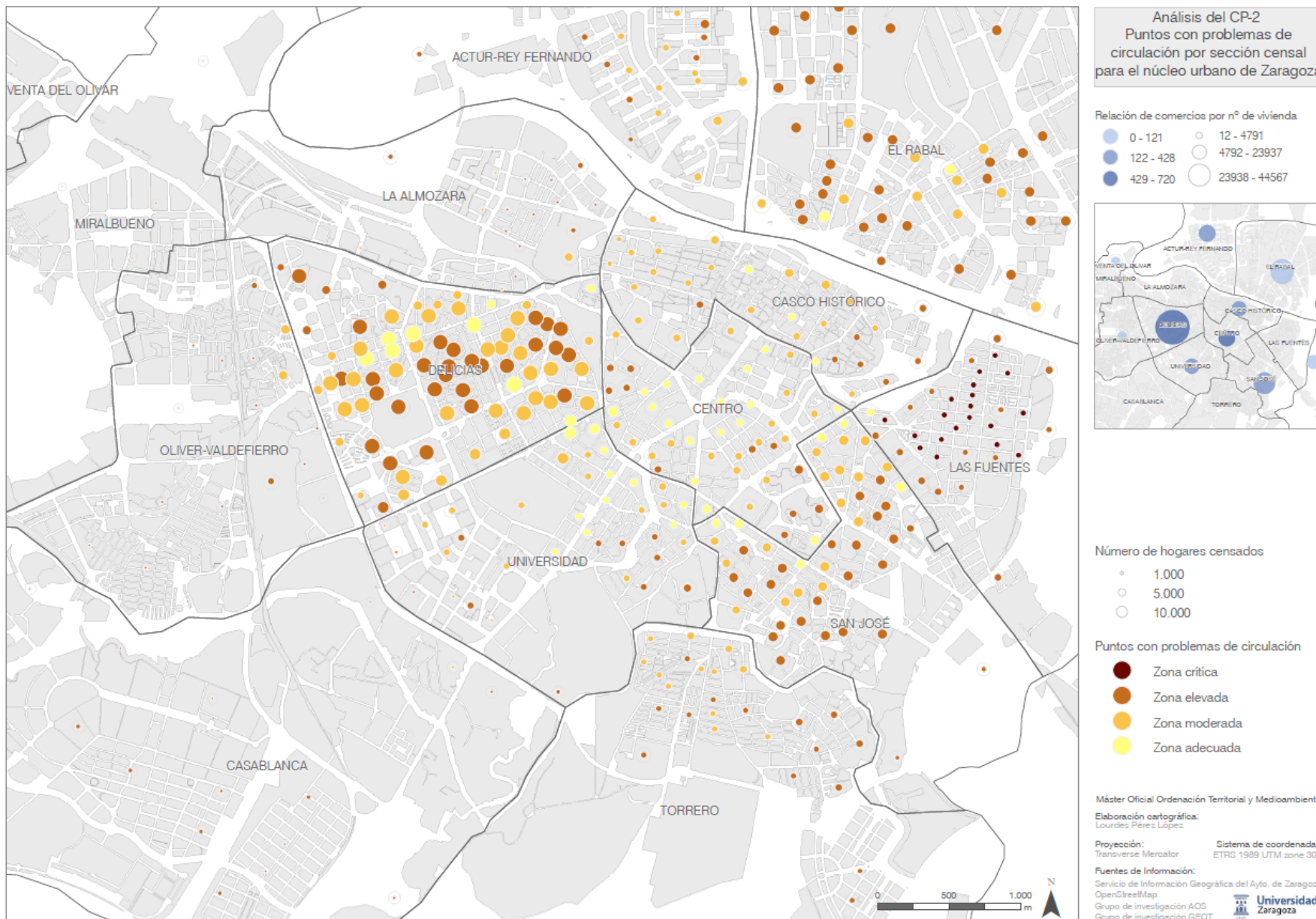


Figura 20. Estrategia de descarbonización, 2050. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020.

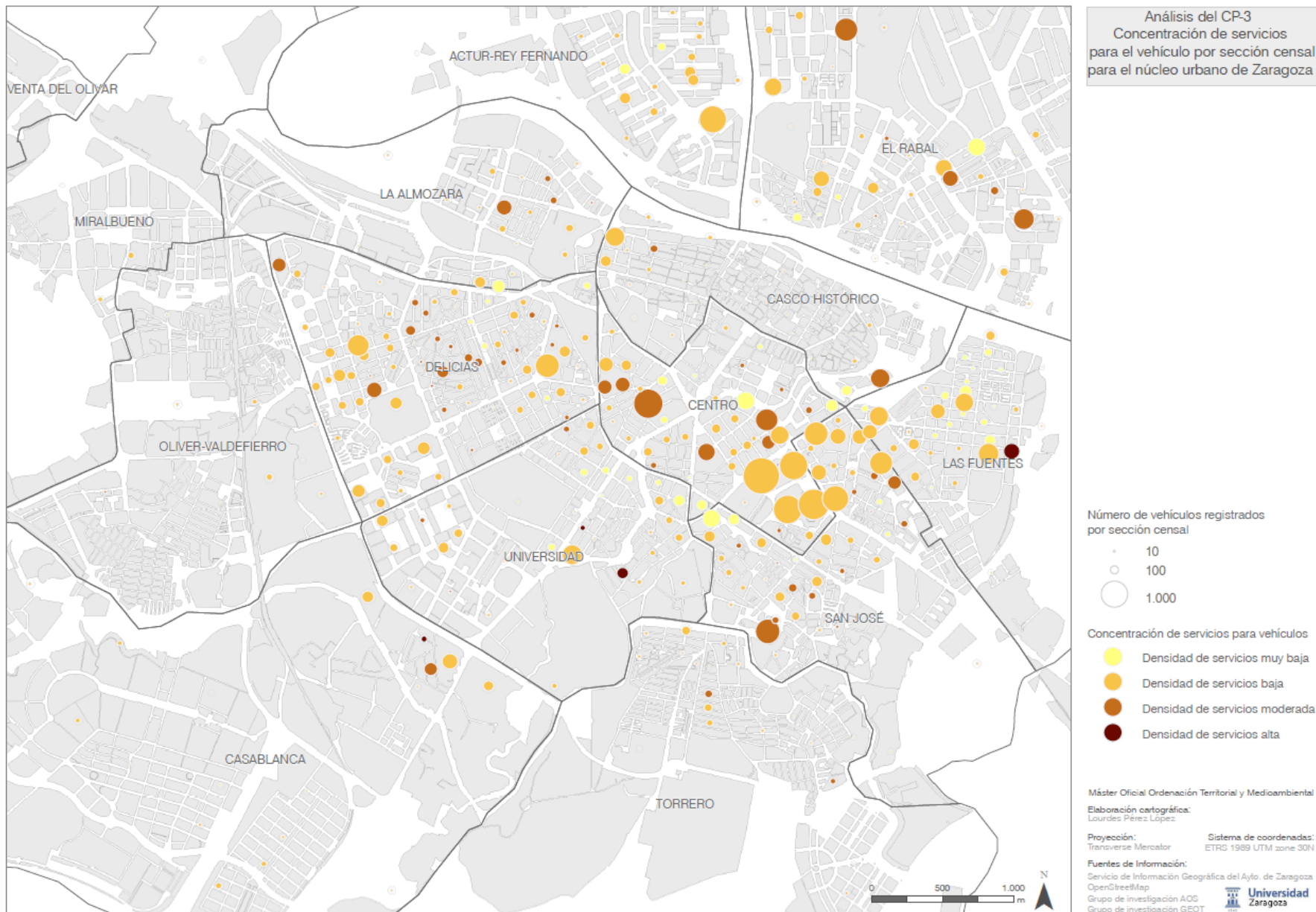
Anexo 2. Mapa de resultado del componente principal 1: Congestión de la circulación.



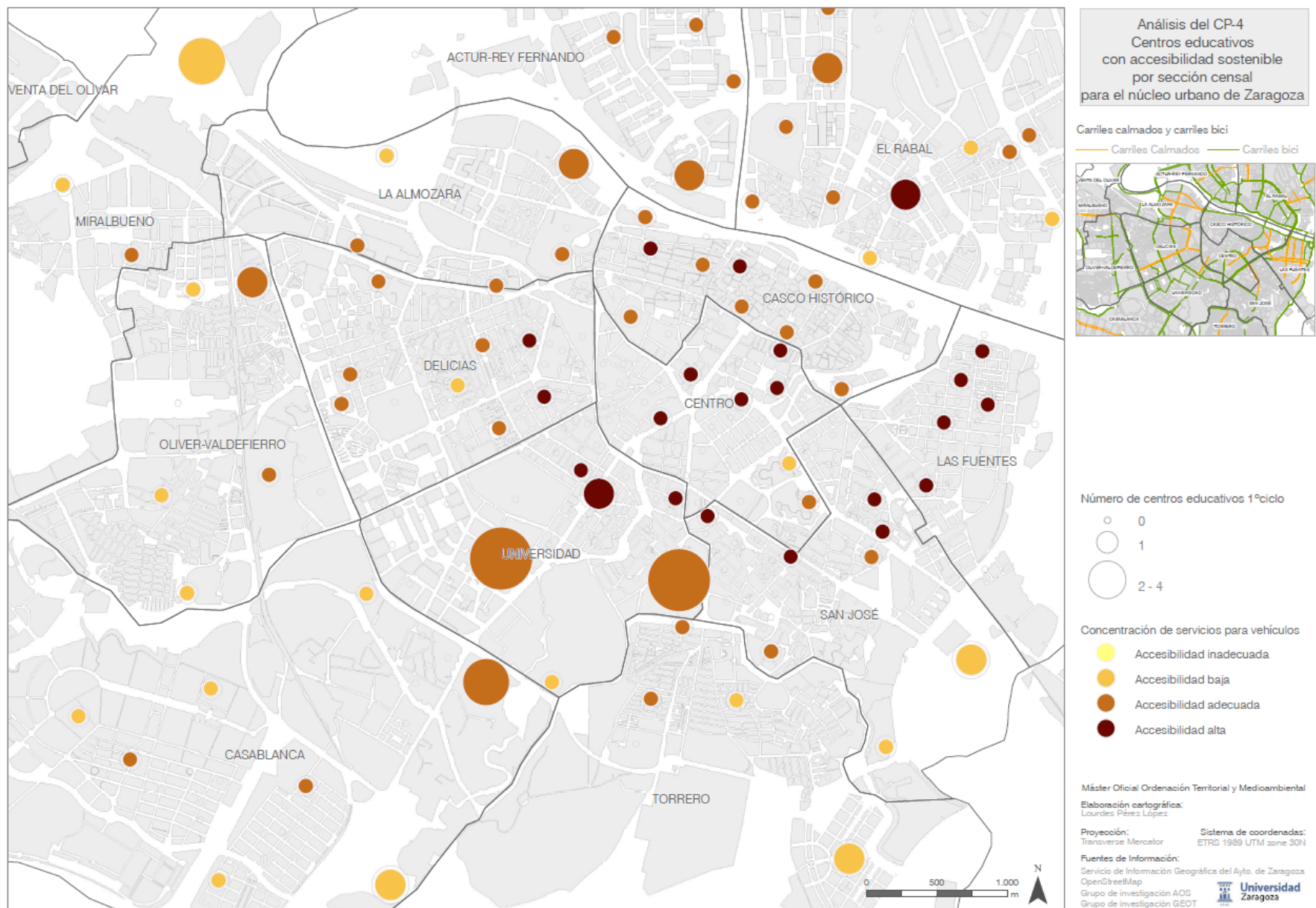
Anexo 3. Mapa de resultado del componente principal 2: Puntos con problemas de circulación.



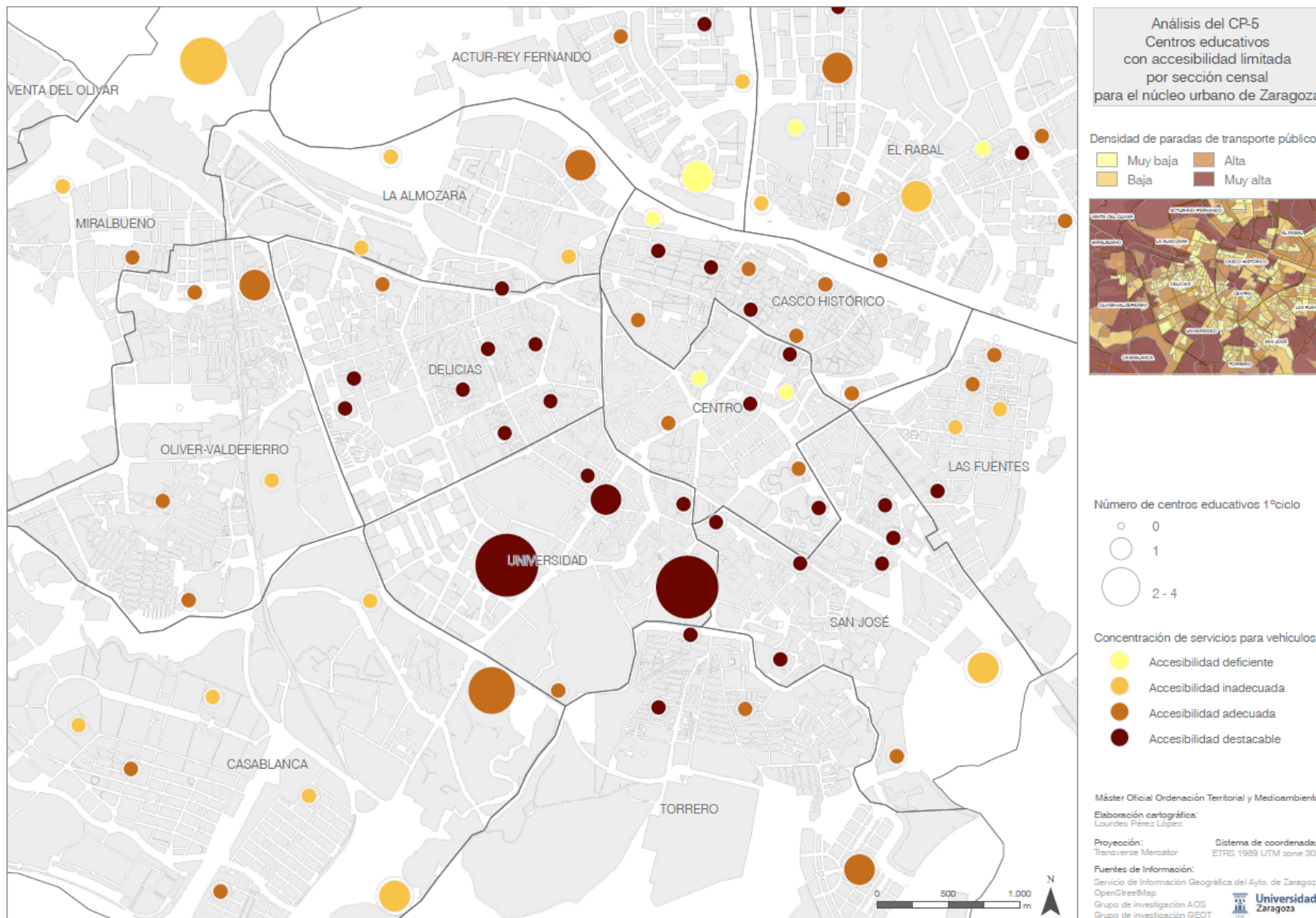
Anexo 4. Mapa de resultado del componente principal 3: Concentración de servicios para el vehículo.



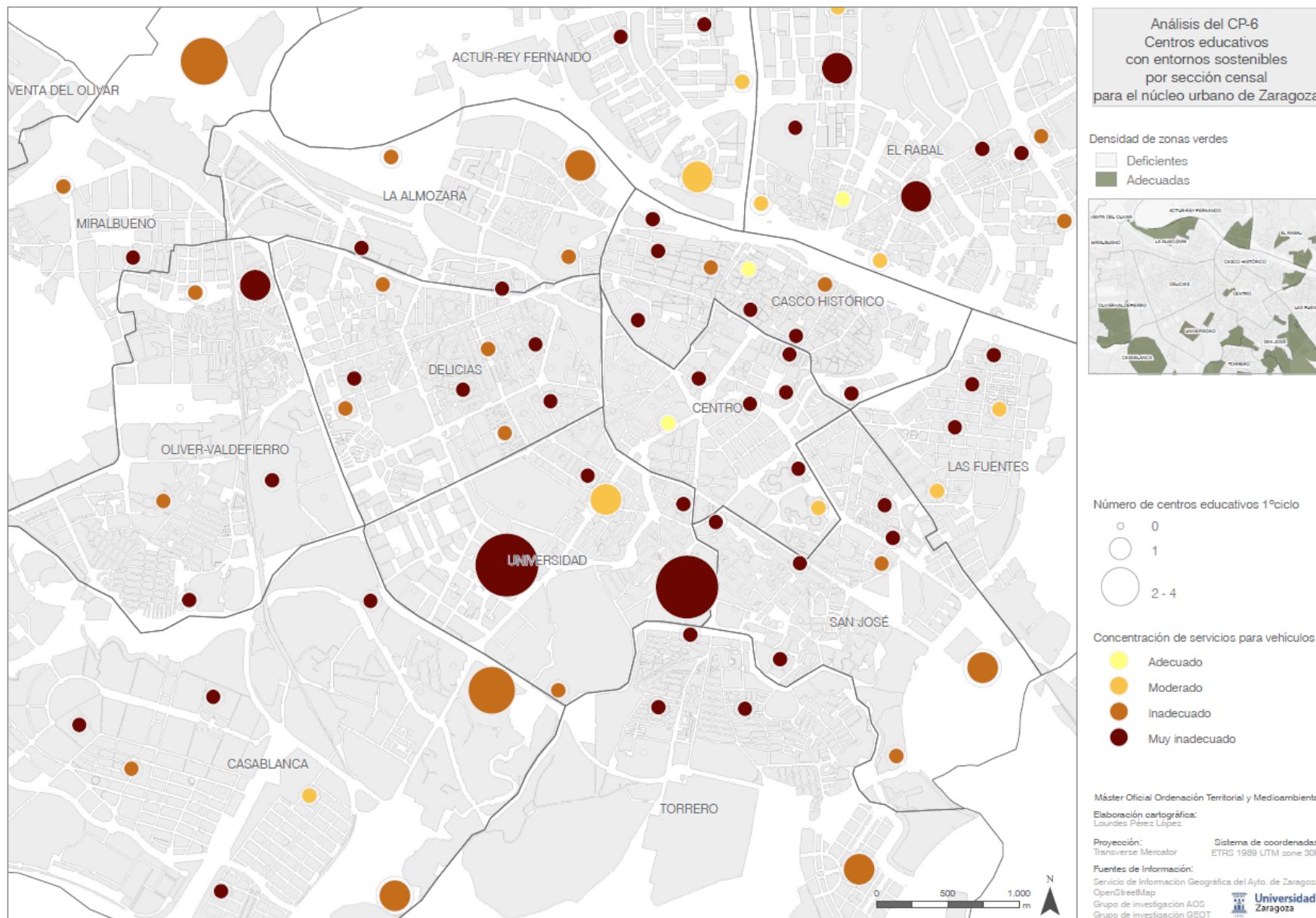
1 Anexo 5. Mapa de resultado del componente principal 4: Equipamientos educativos con accesibilidad sostenible.



Anexo 6. Mapa de resultado del componente principal 5: Equipamientos educativos con accesibilidad limitada.



Anexo 7. Mapa de resultado del componente principal 6: Equipamientos educativos con accesibilidad limitada.



Anexo 8. Mapa de resultado del Índice de Susceptibilidad (IS).

