

(06-010) - Implementing Change: A Study and Recommendations for the Implementation of Low Emission Zones in Spanish Cities

Pastor Fernández, Andrés ¹; Otero Mateo, Manuel ¹; Cerezo Narváez, Alberto ¹;
Ramírez Peña, Magdalena ¹; Ballesteros Pérez, Pablo ²

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial. Universidad de Cádiz, ²
Centro de Investigación en Dirección de Proyectos, Innovación y Sostenibilidad
(PRINS). Universitat Politècnica de València.

Since the entry into force of the regulations on the implementation of Low Emission Zones (LEZ) in Spain, many cities have taken action to comply with the legal requirements. This research will study the situation in Spain on 1st January, 2023. It will highlight the specific infrastructure and urban planning actions undertaken by the cities that have operational LEZs. On the basis of this analysis, it will be possible to establish the main recommendations for the implementation and monitoring of the LEZ projects, according to the specific indicators for the LEZ projects. As a contribution to be highlighted, a methodology will be developed to establish a catalogue of actions, based on lessons learned and good practices, that can be applied to the LEZs of the cities.

Keywords: Low Emission Zone; Air Quality; Mobility; Sustainability

Implementando el Cambio: estudio y recomendaciones para las Zonas de Baja Emisión en Ciudades Españolas.

Desde la entrada en vigor de la normativa en materia de implantación de las Zonas de Baja Emisión (ZBE) en España, numerosas ciudades han realizado actuaciones para poder cumplir con los requisitos legales. En este trabajo se realiza un estudio de la situación en España a fecha de 1 de enero de 2023. En él se pondrá de manifiesto las infraestructuras específicas y actuaciones urbanísticas que se han abordado por los Ayuntamientos que tienen operativas sus ZBE. A partir de este análisis se podrá establecer, en función de los indicadores específicos para los proyectos de ZBE las principales recomendaciones para la realización y seguimiento de los mismos. Como aportación a destacar, se establece una metodología para poder establecer un catálogo de medidas, basadas en las lecciones aprendidas y buenas prácticas, que se pueden aplicar a las ZBE de los municipios.

Palabras clave: Zona de Baja Emisión; Calidad del Aire; Movilidad; Sostenibilidad

Correspondencia: andres.pastor@uca.es

Agradecimientos: A la Universidad de Cádiz por su apoyo mediante el Plan propio de estímulo y apoyo a la Investigación y Transferencia y al Grupo PAIDI TEP 955 Ingeniería y Tecnología para la Prevención de Riesgos Laborales y al Centro de Investigación en Dirección de Proyectos, Innovación y Sostenibilidad PRINS de la Universitat Politècnica de València



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La preocupación creciente por la calidad del aire en zonas urbanas ha motivado la implementación de políticas ambientales para reducir emisiones de gases contaminantes (Wang et al., 2023; Huang et al., 2021). En este marco, las Zonas de Bajas Emisiones (ZBEs) se perfilan como una estrategia fundamental para combatir la contaminación atmosférica y mejorar la salud pública en ciudades (Margaryan, 2021). La legislación española, adaptando directivas europeas, ha creado un marco legal para estas zonas, apuntando a disminuir el impacto del tráfico vehicular y mejorar así la calidad de vida urbana (Ley 7/2021; Real Decreto 1052/2022).

Europa ha sido pionera en estas políticas, con capitales como Londres, que desde 2003 implementó la "Congestion Charge", evolucionando a la "Ultra Low Emission Zone" (ULEZ) con restricciones más severas (Nakamura et al., 2021; Ding et al., 2023). París y ciudades como Ámsterdam, Berlín y Lisboa han seguido esta tendencia, promoviendo el transporte sostenible y mejorando la calidad del aire (André et al., 2018; Panteliadis et al., 2014; Aydin & Kürschner Rauck, 2023; Ferreira et al., 2015).

En España, la implementación de ZBEs se ha acelerado como respuesta a las directrices europeas y los compromisos del Acuerdo de París (United Nations, 2016). Barcelona y Madrid son ejemplos destacados de ciudades que han limitado el acceso de vehículos altamente contaminantes (Oltra et al., 2021; Rodríguez-Rey et al., 2022a; Salas et al., 2021).

Este estudio evalúa la implementación y efectividad de las ZBEs en España, analizando la normativa y las acciones urbanísticas desde su implementación hasta enero de 2023 (Lebrusán & Toutouh, 2021; Salvador & Matías, 2024). Utilizamos una metodología comparativa basada en los Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS), complementada con una guía de buenas prácticas publicada en 2021 por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

El objetivo de este trabajo es proporcionar un diagnóstico actualizado y fomentar prácticas sostenibles en la planificación urbana, para contribuir a la creación de entornos urbanos más saludables y habitables (United Nations, 2015). La investigación se enfoca en el desarrollo de un catálogo de buenas prácticas, basado en experiencias exitosas, diseñado para guiar a los municipios en la planificación e implementación de ZBEs.

El artículo se organiza en secciones que presentan los objetivos, revisan el estado del arte, describen la metodología utilizada y discuten los resultados y conclusiones, proponiendo futuras líneas de investigación. Se excluyen de este estudio los territorios insulares y municipios con más de 20,000 habitantes, considerados distintivamente contaminantes por las autoridades competentes.

2. Objetivos

La presente investigación tiene los siguientes objetivos:

- Estudiar los municipios españoles que, por su censo, deben tener implantadas las ZBEs.
- Evaluar la situación, a 1 de enero de 2023, de la aplicación normativa en el materia de ZBE en España. En este trabajo nos centraremos en las actuaciones a realizar en los municipios de más de 50.000 habitantes de la Península.
- Analizar la situación de ciudades españolas y europeas que tienen en funcionamiento las ZBEs.
- Establecer una metodología que contemple los indicadores de movilidad sostenible para el desarrollo y mantenimiento de las ZBEs.

3. Revisión bibliográfica

En esta sección, exploramos los elementos clave a considerar en la investigación, comenzando con la normativa vigente en España para las Zonas de Bajas Emisiones (ZBEs). Dado que el estudio se enfoca en una tipología específica de municipios, examinamos las fuentes de datos de referencia para determinar el número de municipios, por provincia, que requieren implementar ZBEs. También revisamos experiencias previas tanto a nivel nacional como internacional, destacando algunas ciudades europeas y españolas que ya han implementado ZBEs. Adicionalmente, se detallan diversas actuaciones urbanas que apoyan el desarrollo de estas zonas, incluyendo iniciativas que promueven la movilidad y el transporte sostenible, así como indicadores que permiten monitorear y controlar la movilidad urbana sostenible en las ciudades.

3.1 Normativa a aplicar en las ZBEs en España

Tras la transposición de las directivas europeas al ordenamiento jurídico español, se pueden considerar que, a nivel nacional, las principales normas de aplicación a las ZBEs son las de la Tabla 1:

Tabla 1: Legislación nacional de aplicación a las ZBEs

Normativa	Denominación	Entrada en vigor	Estado
Ley 7/2021	De cambio climático y transición energética	20 de mayo de 2021	Vigor
Real Decreto 1052/2022	Por el que se regulan las zonas de bajas emisiones.	29 de diciembre de 2022	Vigor

La Ley 7/2021 en su Artículo 14, establece que los municipios de más de 50.000 habitantes y los territorios insulares deben adoptar, antes de 2023, planes de movilidad urbana sostenible que incluyan medidas de mitigación para reducir las emisiones derivadas de la movilidad, incluyendo, al menos, el establecimiento de ZBE. También aplica a municipios de más de 20.000 habitantes cuando se superen ciertos valores límite de contaminantes.

Posteriormente, se aprobó el Real Decreto 1052/2022 que regula las zonas de bajas emisiones, destacando la importancia de la descarbonización del transporte y la movilidad urbana como medidas para alcanzar este objetivo. Esta norma se enfoca también en la mejora del medio ambiente urbano y la salud de los ciudadanos, la disminución del consumo de energía, y la promoción del transporte público y la intermodalidad.

Puesto que las competencias están transferidas a los municipios, son estos los que, con base en las citadas normas y siguiendo las recomendaciones y buenas prácticas, como por ejemplo el documento denominado "Directrices para la creación de ZBE del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto demográfico" (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021), desarrollan ordenanzas municipales para la implantación de medios y actuaciones urbanísticas concretas. Es destacable que, por el momento, no se han desarrollado normas de carácter autonómico que sean de obligado cumplimiento.

3.2 Datos censales

Las ZBEs se consideran una herramienta indispensable para desarrollar una estrategia que amortigüe el impacto del transporte urbano, disminuya las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero y favorezcan la calidad del aire en los municipios. Es por ello que surge la necesidad de analizar los datos censales y la interacción con las restricciones propias de las ZBEs.

Como recurso para tal fin, se dispone de los datos censales en el Instituto Nacional de Estadística (Instituto Nacional de Estadística, 2023) en el que se establecen los habitantes

por municipio. En este recurso existen datos históricos. En nuestra investigación se utilizarán los correspondientes al año 2023.

Puesto que en esta investigación se han excluido los territorios insulares, en la Tabla 2, se muestran los datos cuantitativos (Instituto Nacional de Estadística, 2023) de las provincias con más de 50.000 habitantes. Se recogen los datos que corresponden a 139 municipios españoles. Al tener más de 50.000 habitantes, están obligados a tener una ZBE implantada.

Tabla 2: Número de municipios por provincia que requieren ZBE

Provincia	Nº	Provincia	Nº	Provincia	Nº	Provincia	Nº	Provincia	Nº
Albacete	1	Gipuzkoa	2	Cádiz	8	Lugo	1	Tarragona	1
Alicante	8	Girona	1	Cantabria	2	Madrid	24	Teruel	4
Almería	3	Granada	2	Castellón	2	Málaga	9	Toledo	0
Álava	1	Guadalajara	1	Ceuta	1	Melilla	1	Valencia	2
Asturias	4	Huelva	1	Ciudad Real	1	Murcia	4	Valladolid	0
Ávila	1	Huesca	1	Córdoba	1	Navarra	1	Zamora	2
Badajoz	2	Bizkaia	3	Jaén	2	Segovia	2	Zaragoza	5
Barcelona	19	Burgos	1	León	2	Sevilla	1		
Cuenca	1	Cáceres	1	Lleida	1	Soria	1		

Para mayor detalle de los municipios concretos que corresponden a cada una de las provincias, se dispone de la consulta en el censo del INE. A modo de ejemplo, se muestra la Imagen 1 correspondiente al recurso mencionado:

Imagen 1: Información censal de municipios por provincia y tamaño del municipio.

The image shows a screenshot of the INE (Instituto Nacional de Estadística) website. The page title is "Censo anual de población 2021-2023" and the subtitle is "Distribución del número de municipios según comunidad autónoma y provincia y tamaño del municipio". The interface includes a search bar, a navigation menu, and a main content area with several filters and options. The filters are: "Comunidad Autónoma y Provincia" (with a tree view showing "Total Nacional" and "Provincias (62)"), "Año" (with a list of years 2023, 2022, and 2021), and "Tamaño del municipio" (with a list of population ranges from "Menos de 101 habitantes" to "De 50.001 a 100.000"). There are also buttons for "Consultar selección" and "Consultar todo".

Fuente: INE

Con fecha de 31 de enero de 2024 y según la información de las ZBEs en Europa (Sadler Consultants Europe GmbH, 2024) los municipios españoles que tienen operativas sus ZBEs son los siguientes: Badalona, Barcelona, Hospitalet de Llobregat, Madrid, San Cugat del Vallés, San Sebastián, Sevilla, Torremolinos, Valencia, Valladolid, Vitoria-Gasteiz y Zaragoza.

3.5 Señalización y restricciones en las ZBEs

La implantación de una ZBE contribuye al desarrollo urbanístico sostenible de las ciudades. Es por ello por lo que existen actuaciones que se incorporan al diseño de la ciudad para contribuir al cumplimiento de los requisitos relacionados con la mejora de la calidad del aire (Ding et al., 2023; Flanagan et al., 2022) y el diseño e incorporación de limitaciones de acceso (Mirhedayatian & Yan, 2018) en dichas zonas.

Entre todas las que actualmente se están implantando en las ciudades están la señalización específica. Como ejemplo de señalización se muestra la Figura 4 en la que se indica el uso de cámaras de control con lector de Reconocimiento Óptico de Caracteres (Optical Character Recognition: por sus siglas en inglés OCR), monitorización de la zona mediante centros de control y prohibición del acceso excepto a vehículos autorizados. Otras medidas corresponden al fomento del uso de bicicletas (Ceccato & Gastaldi, 2023) y patinetes eléctricos (Severengiz et al., 2020; Shaw & Bunce, 2015) con carriles específicos (Sukmana Rs et al., 2019) para estos medios e incluso peajes (Ambrosch & Leih, 2016; Nash & Whitelegg, 2016) para poder acceder a las zonas restringidas. Estas últimas se pueden encontrar en ciudades europeas como Bruselas o Londres (Verbeek & Hincks, 2022).

Figura 4: Señalización de las ZBEs.



Fuente: Ayuntamiento de Madrid (02-febrero-2024)

En las ZBEs de España, como medida coercitiva, se está aplicando la Ley de Tráfico (Ley Sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial., 2015) en vigor el 21 de marzo de 2022. Desde esa fecha, se considera infracción grave no respetar las restricciones de acceso a las ZBE con un vehículo no autorizado y está multado con 200,00 euros.

Tal y como se observa en la Figura 5, las excepciones al acceso van acompañadas del correspondiente distintivo que identifica a los vehículos según el potencial nivel de contaminación.

Figura 5: Distintivos de los vehículos.



Fuente: Dirección General de Tráfico (02-febrero-2024)

La clasificación de los vehículos en función de su impacto ambiental y eficiencia energética se establece mediante la asignación de las etiquetas de la Figura 7:

- Etiqueta de Emisiones Cero, Color Azul: Se asigna a los vehículos que presentan el mayor nivel de eficiencia energética y mínima huella ambiental. Se incluyen dentro de esta clasificación los vehículos eléctricos de batería (battery electric vehicles: por sus siglas en inglés BEV), vehículos eléctricos de autonomía extendida (por sus siglas en inglés range extended electric vehicles REEV), vehículos eléctricos híbridos enchufables (plug-in hybrid electric vehicles: por sus siglas en inglés PHEV) con una autonomía mínima de 40 km, y vehículos propulsados por pilas de combustible como son los de Hidrógeno.
- Etiqueta Eco: Para aquellos vehículos que, sin llegar a alcanzar la eficiencia de los clasificados bajo la Etiqueta de Emisiones Cero, presentan un balance energético y de emisiones notablemente superior al promedio. Esta categoría están los vehículos eléctricos enchufables con autonomía inferior a 40 km, híbridos no enchufables (Hybrid Electric Vehicle: por sus siglas en inglés HEV), y aquellos que operan tanto con gas natural comprimido (compressed natural gas: por sus siglas en inglés CNG) y licuados, por ejemplo el gas licuado de petróleo (liquefied petroleum gas: por sus siglas en inglés: liquefied petroleum gas LPG), siempre que cumplan con los criterios establecidos para la etiqueta de nivel C.
- Etiqueta C, Color Verde: Se otorga a los vehículos con motores de combustión interna que cumplen con los estándares de emisiones EURO (EURO 4,5 y 6 para gasolina y EURO 6 para diésel). Están los automóviles y las furgonetas de gasolina registradas a partir de enero de 2006 y los automóviles de diésel desde septiembre de 2015. Se incluyen los vehículos de más de 8 plazas (excluyendo al conductor) y vehículos pesados, de gasolina o diésel, matriculados a partir del 2014.
- Etiqueta B, Color Amarillo: Para vehículos con motores de combustión interna que, aunque no cumplen con las normativas de emisiones EURO más actuales, satisfacen requisitos de normativas anteriores (EURO 3,4 y 5). Se incluyen los automóviles y furgonetas de gasolina matriculados desde el 1 de enero de 2001 y los diésel desde el año 2006. También tienen este distintivo los vehículos de más de 8 plazas y los vehículos pesados, tanto de gasolina como de diésel, que han sido matriculados a partir del año 2006.

Los vehículos que no se encuentran en ninguna de las anteriores categorías, no son elegibles para recibir ningún tipo de distintivo ya que no son considerados “vehículos limpios” al contribuir negativamente a la calidad del aire y a un ineficiente consumo energético.

3.6 Infraestructuras urbanas sostenibles

Desde finales del siglo XIX, la creciente popularidad de la bicicleta propició el nacimiento de los carriles bici. En diferentes ciudades Europa están implados, por ejemplo, Amsterdam, Londres o Groningen (Teixeira et al., 2020) como respuesta a desafíos ambientales y la necesidad de sostenibilidad. Alemania, Suiza, Finlandia, Dinamarca y Países Bajos (Teixeira et al., 2020) lideraron la expansión de estas infraestructuras en los años 70. Actualmente, los carriles bici persiguen mejorar de manera global la movilidad urbana fomentando la interconexión con otros medios de transporte, así como apoyar aspectos propios de la mejora de la calidad del aire en ZBEs a través de la sostenibilidad propia de los PMUS (Pisoni et al., 2019).

Los carriles bici para bicicletas y patinetes tienen notables lagunas normativas. En Europa no existe una normativa de aplicación general. En España, aunque existen referencias a los mismos en el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial (Ley Sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial., 2015), son los Ayuntamientos de

los municipios los que regulan, mediante Ordenanzas municipales, el diseño y desarrollo de este tipo de vías.

Los planes de movilidad urbana incorporan aspectos relativos a la sostenibilidad (referencia a los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS) entre los que se expresa, según Greenpeace en su informe "El transporte en las ciudades. Un motor sin freno al cambio climático de 2016 (Greenpeace(GEA2), 2016), el uso de bicicleta, andar y fomentar el uso del transporte público para frenar el Cambio Climático. Estas recomendaciones están alineadas con el Libro Verde sobre medio ambiente urbano (Comisión de las Comunidades Europeas, 1990).

Aunque no se conocen unos criterios europeos para el desarrollo de los carriles bici, en el año 2023 en España se ha elaborado una guía para el diseño (Ministerio de Transporte Movilidad y Agenda Urbana & Dirección General de Tráfico, 2023) en las que se tienen en cuenta, como principales criterios la seguridad, la accesibilidad, la conectividad, la señalización, los materiales y la comodidad. Además, se tienen en cuenta el trazado y la geometría urbana para minimizar el esfuerzo del uso de la bicicleta.

Algunos ejemplos, sin ser exclusivos, de ciudades europeas y españolas que son representativos por el uso de la bicicleta como medio de transporte son Ámsterdam con 400 kilómetros de carril bici (Wikipedia, 2024) y Copenhague con 1500 kilómetros de carril bici (Diario de la Vanguardia, 2024). A finales de 2023 en España, ciudades como Sevilla con 189 kilómetros (Ayuntamiento de Sevilla, 2024) y Barcelona con 240 kilómetros (Ayuntamiento de Barcelona, 2024b) son referentes nacionales.

El seguimiento de la calidad del aire es esencial en la lucha contra la contaminación urbana y la salvaguarda de la salud pública. Mediante estaciones de monitoreo fijas y móviles, se miden las concentraciones de contaminantes atmosféricos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones y la implementación de estrategias correctivas. La importancia de las tecnologías de sensor remoto y los modelos de dispersión atmosférica es innegable para evaluar la calidad del aire y localizar las fuentes de emisiones nocivas, mientras que sistemas como el AQI informan al público sobre los riesgos para la salud asociados a la calidad del aire.

En el Europa, la supervisión de la CA aire se efectúa mediante una red de estaciones nacionales integradas, encargadas de la evaluación constante de contaminantes atmosféricos. Se usan para monitorizar el Índice de Calidad del Aire (ICA) ofreciendo un marco crítico para la gestión de los posibles contaminantes en la atmósfera. En España los datos recopilados son transmitidos, en tiempo real, al centro existente en el Ministerio para la Transición Ecológica, facilitando la determinación del ICA a partir de las concentraciones de contaminantes, y sirviendo como herramienta vital para el análisis y futuras acciones medioambientales como, por ejemplo, la prohibición del acceso a una ZBE (Rodríguez-Rey et al., 2022).

Respecto a la monitorización de la CA, en números municipios se cuenta con estaciones que forman parte de la red nacional de control. Las estaciones urbanas de calidad del aire, equipadas para medir contaminantes como los NO_x, SO₂, CO, O₃ y partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, junto con datos meteorológicos, son cruciales para verificar el impacto en las ZBE para así poder trazar estrategias para la reducción de la contaminación. Estas estaciones proporcionan una visión detallada de la situación ambiental en tiempo real, asegurando el cumplimiento normativo y fomentando un entorno urbano más saludable. En la Imagen 2 se muestra como ejemplo una de las ubicadas en la capital de Sevilla.

Imagen 2: Estación de monitorización Torneo (Sevilla).



Fuente: (Junta de Andalucía, 2024) (28-febrero-2024)

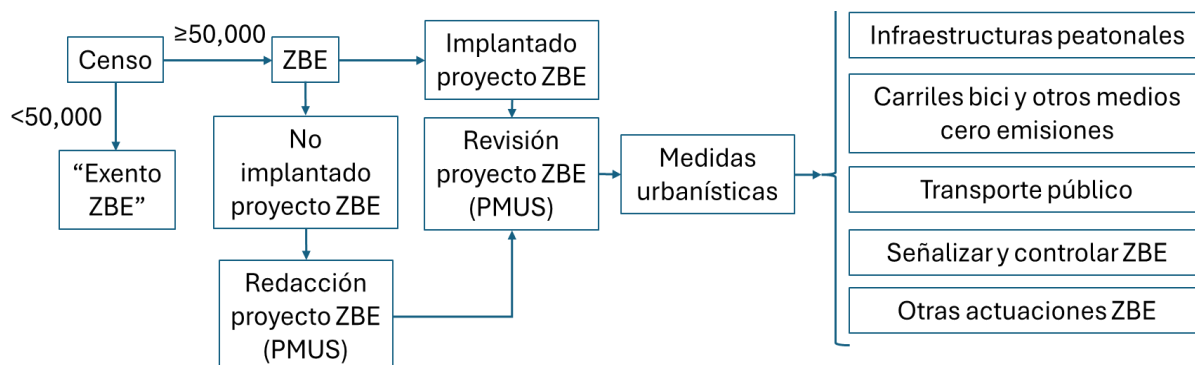
4. Materiales y métodos

Para realizar un estudio completo de las ciudades españolas, se deben seguir las siguientes actividades que se recogen a continuación:

1. Analizar el censo del municipio a seleccionar, que en este estudio se ciñen a los que tengan más de 50.000 habitantes. Para ello se han tomado, como fuente, los datos censales del INE.
2. Una vez seleccionada la ciudad, hay que comprobar si tiene implantado el proyecto de ZBE y el tipo al que corresponde. En caso de que lo tengan, revisar el Proyecto de ZBE y si no lo tienen hay que redactar el proyecto de ZBE determinando el tipo más adecuado al municipio.
3. Estudiar el PMUS y revisar si existen zonas restringidas de acceso. En caso de que no existan hay que determinar las zonas de acceso restringido. También hay que revisar si tienen sistema de vigilancia de la calidad del aire. En caso de que lo tengan se usará y si no lo tienen hay que incluirlo para monitorizar los accesos a la ZBE.
4. Se deben analizar los recursos urbanísticos existentes como es el caso del carril bici. Si no lo tuviera hay que desarrollarlo con los criterios anteriormente indicados: seguridad, accesibilidad, conectividad, señalización, materiales y comodidad. El resto de las actuaciones estarán recogidas en el PMUS.
5. A partir del estudio se podrán analizar los indicadores de movilidad sostenible que permitirán determinar las actuaciones urbanas que supongan una mejora del PMU y su ZBE. A partir de esta información se podrá definir un catálogo de aplicación en la ciudad que contribuirá a la mejora en la calidad de vida de los ciudadanos.

En la Figura 6 se muestra la metodología adoptada en esta investigación aplicable a los municipios españoles indicados en la Tabla 2.

Figura 6: Metodología



Puesto que los proyectos de ZBE tienen auditorías periódicas, todas las sugerencias de mejora se irán analizando para su posible incorporación a la ZBE.

6. Análisis de resultados

En España, aunque existe una normativa y directrices adecuadas para el desarrollo eficaz de las Zonas de Bajas Emisiones (ZBEs), la transferencia de conocimientos y la divulgación hacia la sociedad son insuficientes, lo que representa un desafío para la efectiva implementación de estos proyectos. Debe darse prioridad a mejorar la comunicación con las partes interesadas para asegurar el éxito de las ZBEs.

Un estudio reciente revela que solo el 8,63% de los municipios en España tienen operativas las ZBEs al 31 de enero de 2023, lo que subraya la necesidad de adoptar medidas urgentes para la implementación de estas zonas.

La información para este estudio se ha recopilado de las páginas web municipales. Aunque la Dirección General de Tráfico (DGT) posee un registro de ZBEs, este aún no está accesible, dificultando la evaluación de su implantación a nivel nacional.

Es notable que, aunque muchas ciudades cuentan con estaciones de control de calidad del aire, no todas están situadas en las ZBEs ni miden los principales contaminantes. Es crucial establecer requisitos mínimos para estas estaciones para evaluar la efectividad de las ZBEs y activar protocolos de actuación urgentes cuando se superen los límites establecidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico de España.

El desarrollo de infraestructuras urbanas y la promoción de la movilidad sostenible son claves para crear ZBEs efectivas, facilitando el acceso a zonas restringidas y reduciendo los contaminantes que afectan negativamente la calidad del aire.

En Europa y España, iniciativas como el desarrollo de carriles bici, el fomento del transporte público y la peatonalización han sido fundamentales para sensibilizar a la ciudadanía sobre la movilidad sostenible y facilitar la implementación de las ZBEs. Sin embargo, las multas por acceso no autorizado a estas zonas, aunque necesarias, son consideradas excesivas al ser calificadas de “graves”.

7. Conclusiones

El anuncio de sanciones por parte de Europa, y más concretamente en España, a aquellos municipios que no tuviesen activas las ZBEs a 1 de enero de 2024 no ha sido un elemento determinante para el desarrollo e implantación de las mismas.

El número de municipios españoles que no tienen en funcionamiento la ZBE es cercano al 91%. Esto es una muestra evidente del fracaso en las políticas locales y la falta de presión a niveles nacionales.

La adopción de ZBEs en municipios de España representa un avance significativo hacia la mejora de la calidad del aire y la salud pública. Como muestra de ello, en España hay varios casos que pueden servir para el desarrollo de buenas prácticas.

La monitorización de contaminantes de la CA a través del sistema nacional de control es un aliado crucial para conseguir una estrategia urbana sostenible en relación con las ZBEs en las ciudades.

Son numerosos los elementos que forman parte del catálogo de buenas prácticas para aplicar en una ZBE. Todas las marcadas forman parte de una estrategia sostenible urbana, El principal enfoque se basa en la restricción del acceso a las ZBE, la creación de medidas para el transporte y la movilidad sostenible con el apoyo de las partes interesadas en el proyecto.

El seguimiento de los indicadores de movilidad urbana supone una herramienta útil para poder realizar actuaciones en el PMU y ZBE. A través de las auditorías se generará un catálogo de buenas prácticas para el desarrollo y mantenimiento de este tipo de infraestructuras urbanísticas.

Como líneas de investigación futuras, se desarrollará un protocolo con herramientas multicriterio para poder seleccionar la ZBEs más adecuada a un municipio. Otra línea abierta es la realización de estudios de los principales contaminantes en las ciudades de más de 50.000 habitantes y la repercusión que tiene la implantación de las ZBEs.

8. Referencias

- Ambrosch, K. E., & Leih, Dr. D. (2016). *Assessment of Smart City Implementations* (IEEE, Ed.; Smart Cities Symp.).
- André, M., Pasquier, A., & Carteret, M. (2018). Experimental determination of the geographical variations in vehicle fleet composition and consequences for assessing low-emission zones. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 750–760. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.10.005>
- Attia, M., Alade, T., & Attia, S. (2023). The Influence of Passenger Car Banning Policies on Modal Shifts: Rotterdam's Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097443>
- Aydin, E., & Kürschner Rauck, K. (2023). Low-emission zones, modes of transport and house prices: evidence from Berlin's commuter belt. *Transportation*, 50(5), 1847–1895. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10295-8>
- Ayuntamiento de Barcelona. (2024a). *Web del Departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural de Barcelona*. [Consultado 19 febrero 2024]. Disponible en: https://Mediambient.Gencat.Cat/Es/05_ambits_dactuacio/Atmosfera/Qualitat_de_laire/Qualitat-de-Laire-a-La-Conurbacio-de-Barcelona/
- Ayuntamiento de Barcelona. (2024b). *Kilometers of bike lane of Barcelona*. [Consultado 21 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.Barcelona.Cat/Mobilitat/Es/Tipo-de-Via>.
- Ayuntamiento de Madrid. (2024). *Ayuntamiento de Madrid*. [Consultado 22 febrero 2024]. Disponible en: <https://datos.madrid.es/portal/site/egob>
- Ayuntamiento de Sevilla. (2024). *Kilometers of bike line of Sevilla*. [Consultado 25 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.urbanismosevilla.org/areas/sostenibilidad-innovacion/sevilla-en-bici/red-de-carriles-bici-actual>.
- Benavides, J., Soret, A., Guevara, M., Pérez-García Pando, C., Snyder, M., Amato, F., Querol, X., & Jorba, O. (2023). Potential Impact of a Low Emission Zone on Street-Level Air Quality in Barcelona City Using CALIOPE-Urban Model. In C. Mensink, W. Gong, & A.

- Wanmin (Eds.), *Springer Proceedings in Complexity Air Pollution Modeling and its Application XXVI* (Vol. 1, pp. 171–230). Springer Proceedings in Complexity. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22055-6>
- Ceccato, R., & Gastaldi, M. (2023). Last mile distribution using cargo bikes: a simulation study in Padova. *European Transport - Trasporti Europei*, 90. <https://doi.org/10.48295/ET.2023.90.3>
- Comisión de las Comunidades Europeas. (1990). *Libro Verde sobre el medio ambiente urbano*. [Consultado 8 marzo 2024]. Disponible en: <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/0e4b169c-91b8-4de0-9fed-ead286a4efb7>
- Diario de la Vanguardia. (2024). *Kilometers of bike line of Copenhagen*. [Consultado 13 febrero 2024]. Disponible en: [Consultado 15 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/motor/vehiculos/bicicletas/20230630/9068077/dinero-carriles-bici-copenhague.html>
- Ding, H., Sze, N. N., Guo, Y., & Lu, Y. (2023). Effect of the ultra-low emission zone on the usage of public bike sharing in London. *Transportation Letters*, 15(7), 698–706. <https://doi.org/10.1080/19427867.2022.2082005>
- European Parliament. (2023). *Euro 7: Deal on new EU rules to reduce road transport emissions*. [Consultado 8 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20231207IPR15740/euro-7-deal-on-new-eu-rules-to-reduce-road-transport-emissions>
- European Urban Mobility Observatory. (2020). Technical support related to sustainable urban mobility indicators (SUMI). [Consultado 28 febrero 2024]. Disponible en: https://transport.ec.europa.eu/system/files/2020-09/sumi_wp1_harmonisation_guidelines.pdf
- Ferreira, F., Gomes, P., Tente, H., Carvalho, A. C., Pereira, P., & Monjardino, J. (2015). Air quality improvements following implementation of Lisbon's Low Emission Zone. *Atmospheric Environment*, 122, 373–381. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.064>
- Flanagan, E., Malmqvist, E., Gustafsson, S., & Oudin, A. (2022). Estimated public health benefits of a low-emission zone in Malmö, Sweden. *Environmental Research*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114124>
- Greenpeace (GEA2). (2016). *Movilidad también por el clima I*.
- Holnicki, P., Katuszko, A., & Nahorski, Z. (2023). A Projection of Environmental Impact of a Low Emission Zone Planned in Warsaw, Poland. *Sustainability*, 15(23), 16260. <https://doi.org/10.3390/su152316260>
- Huang, Y., Lei, C., Liu, C. H., Perez, P., Forehead, H., Kong, S., & Zhou, J. L. (2021). A review of strategies for mitigating roadside air pollution in urban street canyons. In *Environmental Pollution* (Vol. 280). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116971>
- Instituto Nacional de Estadística. (2023). *Instituto Nacional de Estadística*. [Consultado 7 marzo 2024]. Disponible en: <https://ine.es/>
- Junta de Andalucía. (2024). *Estación de monitorización C/Torneo (Sevilla)*. https://ws041.juntadeandalucia.es/pentaho/api/repos/%3Apublic%3ACDA_Modulo_Difusion%3Ainicio%3Ainicio.wcdf/GeneratedContent. [Consultado 5 marzo 2024]. Disponible en: https://ws041.juntadeandalucia.es/pentaho/api/repos/%3Apublic%3ACDA_Modulo_Difusion%3Ainicio%3Ainicio.wcdf/generatedContent
- Lebrusán, I., & Toutouh, J. (2021). Car restriction policies for better urban health: a low emission zone in Madrid, Spain. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 14(3), 333–342. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00938-z>
- Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética., BOE-A-2021-8447-consolidado 1 (2021). [Consultado 8 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7/con>

- Ley Sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial., BOE-A-2015-11722-consolidado (2015). [Consultado 22 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2015/10/30/6/con>
- Lorelei de Jesus, A., Thompson, H., Knibbs, L. D., Kowalski, M., Cyrus, J., Niemi, J. V., Kousa, A., Timonen, H., Luoma, K., Petäjä, T., Beddows, D., Harrison, R. M., Hopke, P., & Morawska, L. (2020). Long-term trends in PM_{2.5} mass and particle number concentrations in urban air: The impacts of mitigation measures and extreme events due to changing climates. *Environmental Pollution*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114500>
- Margaryan, S. (2021). Low emission zones and population health. *Journal of Health Economics*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2020.102402>
- Millán-Martínez, M., Sánchez-Rodas, D., Sánchez de la Campa, A. M., Alastuey, A., Querol, X., & de la Rosa, J. D. (2021). Source contribution and origin of PM₁₀ and arsenic in a complex industrial region (Huelva, SW Spain). *Environmental Pollution*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116268>
- Ministerio de Transporte Movilidad y Agenda Urbana, & Dirección General de Tráfico. (2023). *Guía de recomendaciones para el diseño de infraestructura ciclista*.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Directrices para la creación de zonas de bajas emisiones (ZBE)*. www.miteco.es
- Mirhedayatian, S. M., & Yan, S. (2018). A framework to evaluate policy options for supporting electric vehicles in urban freight transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 22–38. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.11.007>
- Nakamura, R., Coombes, E., Albanese, A., & Suhrcke, M. (2021). Do Economic Incentives Promote Physical Activity? Evidence from the London Congestion Charge. *Discussion Paper Series*, 1–37. : [Consultado 15 marzo 2024]. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=4114464>
- Nash, C., & Whitelegg, J. (2016). Key research themes on regulation, pricing, and sustainable urban mobility. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(1), 33–39. <https://doi.org/10.1080/15568318.2013.821006>
- Oltra, C., Sala, R., López-asensio, S., Germán, S., & Boso, À. (2021). Individual-level determinants of the public acceptance of policy measures to improve urban air quality: The case of the barcelona low emission zone. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su13031168>
- Panteliadis, P., Strak, M., Hoek, G., Weijers, E., van der Zee, S., & Dijkema, M. (2014). Implementation of a low emission zone and evaluation of effects on air quality by long-term monitoring. *Atmospheric Environment*, 86, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.12.035>
- Pisoni, E., Christidis, P., Thunis, P., & Trombetti, M. (2019). Evaluating the impact of “Sustainable Urban Mobility Plans” on urban background air quality. *Journal of Environmental Management*, 231, 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.039>
- Real Decreto 34/2023, de 24 de enero, por el que se modifican el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire; el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, aprobado mediante el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre; y el Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos. [Consultado 3 abril 2024]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2023/01/24/34>
- Real Decreto 1052/2022, Por El Que Se Regulan Las Zonas de Bajas Emisiones., BOE-A-2022-22689 185963 (2022). Consultado 1 abril 2024]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/12/27/1052>
- Rodriguez-Rey, D., Guevara, M., Linares, M. P., Casanovas, J., Armengol, J. M., Benavides,

- Rodriguez-Rey, D., Guevara, M., Linares, M. P., Casanovas, J., Armengol, J. M., Benavides, J., Soret, A., Jorba, O., Tena, C., & García-Pando, C. P. (2022b). To what extent the traffic restriction policies applied in Barcelona city can improve its air quality? *Science of the Total Environment*, 807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150743>
- Sadler Consultants Europe GmbH. (2024). *Urban Access Regulations in Europe*. consultado 20 marzo 2024]. Disponible en: <https://Urbanaccessregulations.Eu/Userhome/Map>.
- Salas, R., Perez-Villadoniga, M. J., Prieto-Rodriguez, J., & Russo, A. (2021). Were traffic restrictions in Madrid effective at reducing NO2 levels? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102689>
- Salvador, G.-A. V., & Matías, Y. M. (2024). *Implementation of a low emissions zone through soft traffic calming measures: the case study of Cartagena (Spain)*. <https://doi.org/10.31428/10317/13643>
- Severengiz, S., Finke, S., Schelte, N., & Forrister, H. (2020). Assessing the Environmental Impact of Novel Mobility Services using Shared Electric Scooters as an Example. *Procedia Manufacturing*, 43, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.114>
- Shaw, S., & Bunce, L. (2015). Electrifying London: Connecting with mainstream markets. *Green Energy and Technology*, 203, 141–160. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13194-8_8
- Sukmana Rs, C., Hamzah, B., & Rahim, D. (2019). An application of the bicycle lane on the complete street concept in efforts reducing global warming impact. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 235(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/235/1/012091>
- Teixeira, I. P., Rodrigues da Silva, A. N., Schwanen, T., Manzato, G. G., Dörrzapf, L., Zeile, P., Dekoninck, L., & Botteldooren, D. (2020). Does cycling infrastructure reduce stress biomarkers in commuting cyclists? A comparison of five European cities. *Journal of Transport Geography*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102830>
- Tomassetti, L., Torre, M., Tratzi, P., Paolini, V., Rizza, V., Segreto, M., & Petracchini, F. (2020). Evaluation of air quality and mobility policies in 14 large Italian cities from 2006 to 2016. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 55(7), 886–902. <https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1752070>
- United Nations. (2015). *2030 Agenda*. consultado 10 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- United Nations. (2016). *Paris agreement*. Consultado 15 marzo 2024]. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- Verbeek, T., & Hincks, S. (2022). The ‘just’ management of urban air pollution? A geospatial analysis of low emission zones in Brussels and London. *Applied Geography*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102642>
- Wang, Y., Huang, L., Huang, C., Hu, J., & Wang, M. (2023). High-resolution modeling for criteria air pollutants and the associated air quality index in a metropolitan city. *Environment International*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107752>
- Wikipedia. (2024). *Kilometers of bike line of Amsterdam*. Consultado 18 marzo 2024]. Disponible en: <https://Es.Wikiloc.Com/Rutas-Ciclismo/Como-Circular-Por-Amsterdam-54631157>.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

