



TRABAJO FIN DE GRADO

Director/a: Rubén Cordera Piñera

Curso 2024/2025

**CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA URBANA DE
SANTANDER Y PROPUESTA DE DISEÑO DE
ZONA DE BAJAS EMISIONES**

**AIR QUALITY IN THE URBAN AREA OF SANTANDER AND
PROPOSAL FOR THE DESIGN OF A LOW EMISSION ZONE**

Aarón Solórzano Ahedo

Septiembre 2025

Resumen

El presente trabajo recopila información sobre el estado de la calidad del aire en el área urbana de Santander en el contexto de las obligaciones legales y los retos medioambientales actuales. Se parte de la premisa de que la calidad del aire constituye un factor esencial para la salud pública, la sostenibilidad urbana y el bienestar colectivo, y de que las ciudades españolas deben afrontar la necesidad de adaptar sus políticas de movilidad y control de emisiones a las nuevas exigencias normativas y sociales. El trabajo se enmarca en el contexto de la Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética, que obliga a los municipios españoles de más de 50.000 habitantes a implementar Zonas de Bajas Emisiones (ZBEs).

El trabajo realiza una revisión de la literatura y la normativa relevante sobre calidad del aire, incidiendo en los principales contaminantes atmosféricos y en su impacto en la salud. Asimismo, contextualiza la implantación de ZBEs en Europa y España, exponiendo los resultados y dificultades que han encontrado ciudades de referencia en la materia y los criterios de implantación que se han dado sobre este tipo de política. Sobre esta base, se propone una estrategia de implantación de ZBE para Santander con el objetivo de aumentar su efectividad lo más posible.

Finalmente, el estudio subraya la importancia de una gobernanza participativa y el empleo de otras políticas de movilidad sostenible para conseguir los objetivos perseguidos. Se concluye que la implantación de una ZBE bien dimensionada a través de fases sucesivas, puede contribuir de forma significativa a la mejora de la calidad del aire y de la salud urbana en Santander.

Palabras clave: Calidad del aire; Zona de Bajas Emisiones; Movilidad urbana sostenible; Geografía del Transporte

Abstract

This work compiles information on the state of air quality in the urban area of Santander within the framework of current environmental regulations and urban sustainability challenges. It starts from the premise that air quality is a fundamental determinant of public health, urban well-being, and the overall quality of life, and that Spanish cities face the pressing need to adapt their mobility and emissions management policies to new regulatory and social demands. The research falls within the scope of the Spanish Climate Change and Energy Transition Law, which requires municipalities with more than 50,000 inhabitants to implement Low Emission Zones (LEZs).

The work reviews the relevant literature and regulations concerning air quality, emphasizing key atmospheric pollutants and their health impacts. It also situates the implementation of LEZs in the broader European and Spanish context, highlighting experiences, achievements, and challenges faced by pioneering cities. On this basis, a strategy for implementing the ZBE in Santander is proposed with the aim of maximizing its effectiveness.

Finally, the study highlights the importance of participatory governance and the use of other sustainable mobility policies to achieve the desired objectives. It concludes that the implementation of a well-designed LEZ in successive phases can contribute significantly to improving air quality and urban health in Santander.

Keywords: Air quality; Low emission zone; Sustainable urban mobility; Transport Geography

AVISO RESPONSABILIDAD UC

Este documento es el resultado del Trabajo de Fin de Grado de un estudiante, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición. Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido. Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros.

Índice

1	Introducción	5
2	Objetivos del estudio	6
3	Marco teorico	7
3.1	Contextualización de la calidad del aire	7
3.1.1	Definición y parámetros clave	7
3.1.2	Impacto de los contaminantes en la salud pública.....	8
3.1.3	Normativa sobre la calidad del aire	9
3.2	Las Zonas de Bajas Emisiones	12
3.2.1	Concepto y justificación de las Zonas de Bajas Emisiones.....	12
3.2.2	Implementación y resultados de las ZBEs en Europa y España.....	13
3.2.3	Desafíos y barreras para la implementación de una ZBE.....	16
4	Ámbito de estudio	18
5	La calidad del aire en el área de estudio	24
5.1	Estaciones de calidad del aire y parámetros utilizados.....	24
5.2	Influencia de las condiciones atmosféricas en la calidad del aire.....	27
5.3	Datos históricos y valoración.....	28
6	Propuesta de zona de bajas emisiones en el área de estudio.....	30
6.1	Propuestas actuales del Ayuntamiento de Santander	30
6.2	Criterios para el establecimiento de una ZBE	32
6.3	Propuesta de ZBE para el municipio de Santander	35
7	Conclusiones.....	40
	Índice de Figuras	42
	Índice de Tablas	42
	Bibliografía y Fuentes	43

1 INTRODUCCIÓN

La calidad del aire es un factor determinante para la salud pública y el bienestar ambiental. La presencia de contaminantes atmosféricos, como partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2,5}$), dióxido de nitrógeno (NO_2) y ozono troposférico (O_3), se ha asociado con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como con impactos negativos en los ecosistemas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2019, el 99 % de la población mundial vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la OMS sobre la calidad del aire, lo que se traduce en millones de muertes prematuras cada año (Organización Mundial de la Salud, 2024).

En respuesta a esta problemática, diversas ciudades europeas han implementado políticas para mejorar la calidad del aire, entre las cuales destaca la creación de Zonas de Bajas Emisiones (ZBEs). Estas áreas restringen el acceso a vehículos altamente contaminantes y promueven el uso de modos de transporte más sostenibles, intentando mejorar así la calidad del aire urbano. En España, la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética, establece en su artículo 14.3 la obligatoriedad de implementar ZBEs en municipios con más de 50.000 habitantes antes del 1 de enero de 2023 (Ley 7/2021).

Santander, como capital de Cantabria y municipio con más de 50.000 habitantes, está obligada a establecer una ZBE conforme a la legislación vigente. La implementación de esta zona busca, no solo reducir las emisiones de gases contaminantes, sino también fomentar un cambio modal hacia formas de transporte más sostenibles, como son la bicicleta, el transporte público y la movilidad peatonal. Este enfoque integral pretende mejorar la calidad del aire, reducir la congestión vehicular y promover estilos de vida más saludables en el entorno urbano.

Sin embargo, la adopción de la ZBE en Santander enfrenta diversos desafíos. Entre ellos se encuentran la definición del alcance espacial y de las restricciones de la zona, así como la resistencia de ciertos sectores de la sociedad y de la economía, que pueden mostrar preocupación por el impacto en la actividad comercial y la necesidad de adaptar las infraestructuras urbanas para facilitar alternativas en línea con la movilidad sostenible. Además, la coordinación entre diferentes niveles de gobierno y la asignación de recursos adecuados son esenciales para el éxito de esta iniciativa.

Este trabajo recopila información sobre el estado de la calidad del aire en el área urbana de Santander y realiza una propuesta de implementación de una ZBE en la ciudad. Para ello se realiza un análisis urbano, considerando los desafíos asociados a la puesta en marcha de una ZBE y los criterios de implantación emitidos por distintos órganos técnicos. Previamente se examinan casos de estudio en ciudades como Madrid y Barcelona, donde estas medidas han mostrado resultados significativos en la reducción de contaminantes atmosféricos.

2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos que orientan el presente trabajo:

Objetivo General:

- Recopilar información sobre la calidad del aire en el área urbana de Santander y proponer un diseño de Zona de Bajas Emisiones, adaptado a las necesidades específicas de la ciudad, que pueda contribuir a la mejora de la calidad del aire y a una movilidad más sostenible.

Objetivos Específicos:

- Recopilar datos de contaminación: reunir datos actuales e históricos sobre los niveles de contaminación del aire en Santander, con énfasis en las concentraciones de contaminantes como: PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ y O₃.
- Definir criterios para la delimitación de una Zona de Bajas Emisiones: establecer los parámetros fundamentales, basados en las políticas nacionales y europeas, que permitan definir una ZBE efectiva para mejorar la calidad del aire urbana y fomentar la movilidad sostenible.
- Aplicar dichos criterios para delimitar la ZBE en la ciudad de Santander: diseñar una propuesta concreta, adaptada al ámbito urbano santanderino, con el fin de reducir las emisiones contaminantes y fomentar la movilidad sostenible en la ciudad.

3 MARCO TEORICO

3.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

3.1.1 *Definición y parámetros clave*

La calidad del aire se define por la composición atmosférica y las concentraciones de diversos contaminantes que pueden tener repercusiones significativas en la salud humana y en el entorno natural. Su evaluación se realiza a través de indicadores clave que incluyen partículas en suspensión, gases y compuestos químicos con incidencia en el bienestar humano y en los ecosistemas (Organización Mundial de la Salud, 2021).

La OMS ha identificado varios contaminantes atmosféricos clave que son perjudiciales para la salud pública y, por lo tanto, son objeto de monitorización regular. Entre estos contaminantes se encuentran (Organización Mundial de la Salud, 2021):

- **Partículas en suspensión:** PM₁₀ (diámetro ≤ 10 micrones) y PM_{2,5} (diámetro $\leq 2,5$ micrones).
- **Gases contaminantes:** dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y ozono troposférico (O₃).
- **Compuestos orgánicos volátiles:** como el benceno, tolueno y xilenos (BTX).

Estos contaminantes han sido asociados con efectos adversos en la salud humana, incluyendo enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer de pulmón. La OMS ha establecido directrices sobre la calidad del aire para estos contaminantes, proporcionando recomendaciones cuantitativas que ayuden a la gestión de la calidad del aire y a la protección de la salud pública (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Es importante destacar que, aunque las directrices de la OMS abordan principalmente los contaminantes mencionados, la inclusión específica de compuestos orgánicos volátiles como el benceno, tolueno y xilenos, puede variar según las políticas y prioridades de cada país o región. Por lo tanto, es recomendable consultar las normativas locales y las directrices de la OMS para obtener información detallada sobre los contaminantes monitorizados en cada ámbito geográfico.

La calidad del aire no depende exclusivamente de las concentraciones individuales de estos contaminantes, sino también de su interacción con factores meteorológicos,

topográficos y arquitectónicos que influyen en su dispersión y transformación en el ambiente.

El Índice de Calidad del Aire (ICA) es una herramienta elaborada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Esta herramienta permite consultar, en tiempo real, la calidad del aire registrada por las estaciones de medición de la Red Nacional de Vigilancia. El índice utiliza un esquema de colores que va desde el azul (buena calidad) hasta el morado (extremadamente desfavorable) para representar los diferentes niveles de contaminación (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.b).

La definición y la medición de los parámetros clave de la calidad del aire son esenciales para comprender su impacto y evaluar las intervenciones necesarias para su mejora en contextos urbanos como el de Santander.

3.1.2 Impacto de los contaminantes en la salud pública

Los contaminantes atmosféricos tienen un impacto significativo en la salud pública, contribuyendo a una variedad de enfermedades agudas y crónicas. Las partículas en suspensión, particularmente PM₁₀ y PM_{2,5}, están fuertemente correlacionadas con efectos adversos para la salud, como enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Estudios globales estiman que la exposición prolongada a PM_{2,5} está relacionada con aproximadamente 4,2 millones de muertes prematuras anuales en todo el mundo (Organización Mundial de la Salud, 2024). Además, un aumento de 10 µg/m³ en los niveles de PM_{2,5} incrementa un 4 % el riesgo de mortalidad por cualquier causa, un 6 % el riesgo de enfermedades del aparato circulatorio y un 8 % por cáncer de pulmón (Organización Mundial de la Salud, 2024).

En Europa, la Agencia Europea de Medio Ambiente señala que las partículas PM_{2,5} fueron responsables de alrededor de 238.000 muertes prematuras en 2020 (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2022). En el contexto español, se estima que los niveles diarios de PM₁₀ por encima de 50 µg/m³ contribuyen a unas 2,8 muertes prematuras anuales por cada 100.000 habitantes (Ecologistas en Acción, 2022). Según el Instituto de Salud Carlos III, en España se registran cerca de 10.000 muertes anuales atribuidas a la contaminación del aire, lo que la convierte en una de las principales causas evitables de mortalidad (Instituto de Salud Carlos III, 2023).

Los efectos de la contaminación del aire no se limitan a las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Estudios recientes han vinculado la exposición prolongada a contaminantes como las partículas en suspensión y el dióxido de nitrógeno con enfermedades neurológicas. Según la Sociedad Española de Neurología (2020), afecciones como el Alzheimer y el Parkinson pueden agravarse debido a la inflamación sistémica y el daño oxidativo provocado por los contaminantes del aire. Este impacto se observa especialmente en áreas urbanas con altos niveles de exposición.

La contaminación del aire afecta desproporcionadamente a los niños y a las personas mayores. En menores de 5 años, la exposición a PM_{2,5} y NO₂ aumenta el riesgo de asma infantil, infecciones respiratorias recurrentes y, en algunos casos, puede reducir el desarrollo cognitivo (Organización Mundial de la Salud, 2024). De hecho, la OMS estima que más de 500.000 muertes anuales en menores de 5 años están vinculadas a la contaminación del aire (Organización Mundial de la Salud, 2024).

La contaminación del aire también tiene un impacto económico significativo. Según el Banco Mundial, en 2013, las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica le costaron a la economía mundial aproximadamente 225 mil millones de dólares en pérdida de ingresos laborales y más de 5 billones de dólares en costos por fallecimientos prematuros (Banco Mundial, 2016).

Para mitigar este impacto, varios países han implementado medidas como la creación de zonas de bajas emisiones, restricciones al tráfico en centros urbanos y el impulso de fuentes de energía renovable, entre otras. En España, ciudades como Madrid y Barcelona han establecido zonas de bajas emisiones, como se verá más adelante. A nivel internacional, países como China han logrado disminuir significativamente sus niveles de contaminación; por ejemplo, Pekín redujo más del 50 % de sus niveles de PM_{2,5} entre 2013 y 2020 gracias a políticas estrictas de control industrial y a la promoción del transporte público (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2022).

Dado que la contaminación del aire es un problema global que impacta gravemente en la salud pública, es fundamental implementar políticas efectivas a nivel local e internacional para mitigar estos efectos y garantizar una mejora en la calidad de vida de la población actual y futura. Las zonas de bajas emisiones, junto con una transición hacia energías renovables y otras medidas, pueden ser pasos relevantes en esta dirección.

3.1.3 Normativa sobre la calidad del aire

La normativa sobre la calidad del aire en España se basa en la transposición de directivas europeas al marco legislativo nacional, habiendo evolucionado significativamente en las últimas décadas para abordar de manera efectiva los desafíos asociados a la contaminación atmosférica.

La Unión Europea ha establecido un conjunto integral de regulaciones para la calidad del aire a través de diversas directivas, entre las cuales destacan:

- **Directiva 96/62/CE:** la Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, establece los principios básicos de una estrategia común en la Unión Europea para evaluar y gestionar la calidad del aire ambiente. Esta directiva tiene como objetivo definir y fijar objetivos de calidad del aire para prevenir o reducir los efectos nocivos en la salud humana y el medio ambiente. Además, establece métodos y criterios comunes para evaluar la calidad del aire en los Estados miembros y garantiza la disponibilidad de información adecuada al público, incluyendo umbrales de alerta. La directiva también busca mantener una buena calidad del aire y mejorarla cuando sea necesario (Directiva 96/62/CE).
- **Directiva 2004/107/CE:** aborda la calidad del aire en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (Directiva 2004/107/CE).
- **Directiva 2008/50/CE:** unifica varias directivas previas y establece límites y objetivos para una atmósfera más limpia en Europa (Directiva 2008/50/CE).
- **Directiva 2016/2284:** conocida como la Directiva de Techos Nacionales de Emisión, exige la reducción de emisiones de contaminantes clave (Directiva 2016/2284).

En 2024, la Unión Europea adoptó nuevas normas de calidad del aire, estableciendo límites más estrictos para contaminantes como las partículas finas (PM_{2,5} y PM₁₀), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el dióxido de azufre (SO₂), con el objetivo de alcanzar la contaminación cero para 2050 (Consejo de la Unión Europea, 2024).

A nivel nacional, España ha desarrollado diversas normativas para adaptar las directivas europeas:

- **Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera:** establece un marco regulatorio nacional para la calidad del aire y la

protección de la atmósfera, definiendo procedimientos específicos para el control de la contaminación (Ley 34/2007).

- **Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire:** buscar mejorar la calidad del aire adaptando los valores límite y objetivos definidos por la Directiva 2008/50/CE (Real Decreto 102/2011).

Los valores medios anuales establecidos por la legislación española para PM₁₀, PM_{2,5} y NO₂ se muestran en la Tabla 3.1. Como puede verse, los límites fijados por la legislación española son notablemente más elevados que las recomendaciones actuales de la OMS.

Contaminante	Límite legislación española	Límite OMS
PM ₁₀	40 µg/m ³	15 µg/m ³
PM _{2,5}	25 µg/m ³	5 µg/m ³
NO ₂	40 µg/m ³	10 µg/m ³

Tabla 3.1 Límites legales máximos en España y límites recomendados por la OMS para distintos contaminantes.

Elaboración propia a partir del Real Decreto 102/2011 y Organización Mundial de la Salud (2021).

En la Comunidad Autónoma de Cantabria, la regulación de la calidad del aire se sustenta en diversas normativas específicas. La Ley de Cantabria 17/2006, de 11 de diciembre, de Control Ambiental Integrado (Ley 17/2006), establece los procedimientos de control para actividades que puedan afectar la salud humana y el medio ambiente, incluyendo aquellas que impactan la atmósfera. Esta ley se complementa con el Decreto 19/2010, de 18 de marzo, que aprueba el Reglamento de desarrollo de la mencionada ley, detallando las técnicas de control ambiental y el régimen de disciplina aplicable (Decreto 19/2010).

Además, el Decreto 50/2009, de 18 de junio, regula específicamente el control de la contaminación atmosférica industrial en Cantabria (Decreto 50/2009). Este decreto establece los procedimientos de autorización y notificación para actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, en consonancia con la legislación estatal básica.

El Ayuntamiento de Santander ha implementado la “Ordenanza Municipal para el Control Ambiental de Instalaciones y Actividades”, cuyo objetivo es regular la actuación municipal para la protección del medio ambiente urbano. Esta ordenanza va especialmente dirigida a regular perturbaciones por ruidos y vibraciones, así como las condiciones técnicas que deben reunir los sistemas de evacuación de humos de las actividades sometidas a licencia dentro del término municipal de Santander

(Ayuntamiento de Santander, 2014). En 2024 se realizó una consulta pública para modificar la Ordenanza Municipal de Control Ambiental; la modificación incorpora por primera vez la referencia explícita a las restricciones de acceso, circulación y estacionamiento que caracterizan una ZBE (Ayuntamiento de Santander, 2024a) El equipo jurídico trabaja, además, en un texto específico de ordenanza ZBE que incluirá una moratoria de seis meses sin sanciones desde su entrada en vigor.

Estas normativas, junto con la legislación estatal aplicable, conforman el marco jurídico que rige la evaluación y gestión de la calidad del aire en Cantabria, fomentando la protección de la salud pública y del entorno natural.

3.2 LAS ZONAS DE BAJAS EMISIONES

3.2.1 Concepto y justificación de las Zonas de Bajas Emisiones

Según la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética, una Zona de Bajas Emisiones (ZBE) se define como un *"ámbito delimitado por una Administración pública, en ejercicio de sus competencias, dentro de su territorio, de carácter continuo, y en el que se aplican restricciones de acceso, circulación y estacionamiento de vehículos para mejorar la calidad del aire y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, conforme a la clasificación de los vehículos por su nivel de emisiones"*.

El MITECO ha elaborado directrices que integran objetivos de mejora de la calidad del aire, mitigación del cambio climático, cambio modal y eficiencia energética del transporte. Estas directrices proporcionan un marco para que las entidades locales diseñen e implementen ZBEs efectivas. El documento "Directrices para la creación de zonas de bajas emisiones" publicado por el MITECO en 2021, establece criterios y recomendaciones para la implementación de ZBE en los municipios españoles (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

Organizaciones como Ecologistas en Acción consideran que las ZBEs son herramientas estratégicas, no solo para reducir las emisiones, sino también para promover modos de transporte más sostenibles y seguros, como el uso de la bicicleta y el transporte público, disminuyendo la dependencia del automóvil privado. En su "Guía para poner en marcha Zonas de Bajas Emisiones ambiciosas y eficaces", publicada en 2022, la organización destaca la necesidad de reducir drásticamente el número de coches que circulan y aparcen

en las ciudades, señalando que el espacio público está ocupado por vehículos que permanecen parados durante el 95 % del tiempo, en urbes donde el espacio para las personas es un bien escaso (Ecologistas en Acción, 2022).

Sin embargo, la implementación de las ZBEs ha sido desigual en España. Mientras algunas ciudades han avanzado en su puesta en marcha, con claros ejemplos como Madrid con 605 km² de ZBE, Barcelona con 95 km², Badalona con 12 km² y Málaga con 4,04 km², otras enfrentan desafíos legislativos y políticos que retrasan su efectiva aplicación (Híbrido y eléctrico, 2025). De hecho, a mediados de 2025, tan solo ≈ 32 % de las ciudades españolas con más de 50.000 habitantes, las cuales están obligadas a establecer una ZBE, la tienen activa (Noguerol, 2025; Ayuntamiento de Málaga, s. f.).

Las ZBEs representan, por lo tanto, un esfuerzo colectivo para responder a la crisis ambiental urbana mediante regulaciones estratégicas y la colaboración entre gobiernos locales y nacionales, que puede ayudar a mejorar la calidad del aire y la salud pública en las ciudades.

3.2.2 Implementación y resultados de las ZBEs en Europa y España

Las Zonas de Bajas Emisiones se han implementado en diversas ciudades europeas como estrategia para mejorar la calidad del aire y reducir las emisiones de gases contaminantes. Ciudades como Londres, Ámsterdam y Berlín han liderado esta iniciativa, logrando disminuir significativamente los niveles de dióxido de NO₂, PM₁₀ y PM_{2,5}. Por ejemplo, Londres introdujo su ZBE en 2008 y una *Ultra Low Emission Zone* (ULEZ) en 2019 reportando una reducción del 20 % en las concentraciones de NO₂ en zonas centrales (Beshir & Fichera, 2025).

En España, ciudades como Madrid y Barcelona han experimentado resultados positivos similares. Madrid Central ha permitido alcanzar la máxima reducción de NO₂ de la última década, así como también en el caso del ozono troposférico. Como se muestra en la Figura 3.1, los niveles de NO₂ en la estación de Plaza del Carmen (dentro de la ZBE) experimentaron una tendencia a la reducción en 2018 y 2019.

Niveles de contaminación medidos dentro de Madrid Central (estación de la Plaza del Carmen)

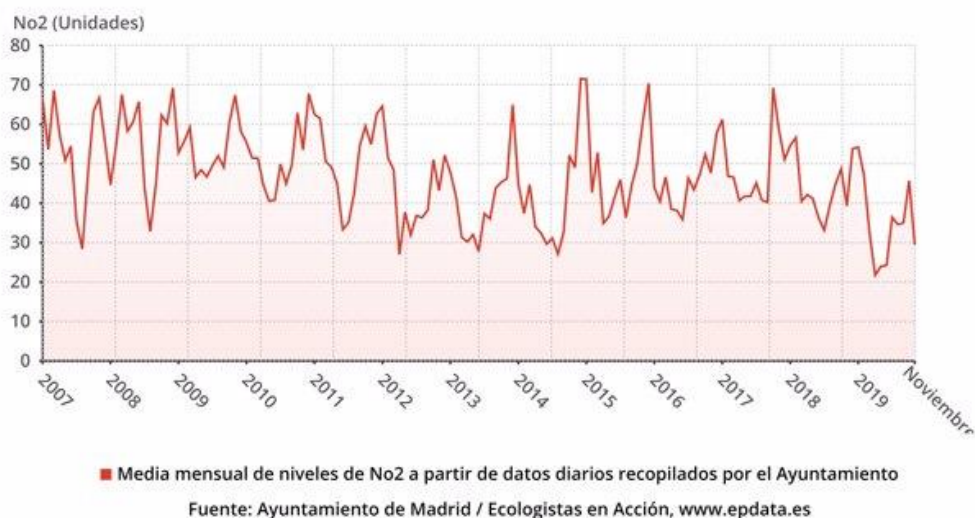


Figura 3.1 Niveles de NO₂ medidos en la estación de Plaza del Carmen dentro de Madrid Central (2018-2019).

Fuente: Ayuntamiento de Madrid (2024) / Ecologistas en Acción (2022), epdata.es.

La Figura 3.2 muestra la evolución de los niveles de contaminación por NO₂ en la zona de Madrid Central a lo largo de 2019. En el gráfico se observa una tendencia clara: antes de la implementación efectiva del régimen sancionador, los niveles de NO₂ fluctuaban con valores elevados, alcanzando picos superiores a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, a partir del periodo en que se comienzan a imponer multas (indicado con un fondo sombreado en el gráfico), se nota una reducción progresiva y sostenida en los niveles de contaminación. En el año 2019, 23 de las 24 estaciones de medición no cumplían con el valor máximo permitido de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que podemos afirmar que el nivel de NO₂ se ha reducido desde el 2019 en torno al 16,6 % (Ayuntamiento de Madrid, 2024). Además, solo entre 2019 y 2023 la reducción en la concentración media diaria de NO₂ ha sido de un 27 % (Ayuntamiento de Madrid, 2023).

Respecto a las partículas PM_{2,5} y PM₁₀, los únicos datos encontrados son del inventario de la Comunidad de Madrid entre los años 2021 y 2022. En el caso de las partículas PM_{2,5} la reducción fue de 1,69 %, mientras que en las PM₁₀ fue de 0,32 %. (Comunidad de Madrid, 2024).

Esta disminución sugiere que la imposición de sanciones fue un factor clave para la mejora de la calidad del aire en Madrid Central. La correlación entre la aplicación de multas y la reducción de NO₂, refuerza la idea de que las restricciones de tráfico, cuando se acompañan de medidas coercitivas, pueden ser efectivas en la reducción de la

contaminación urbana. La variabilidad observada dentro del periodo sancionador podría deberse a factores externos como las condiciones meteorológicas o eventos específicos de tráfico.

En conclusión, los datos muestran cierta correlación entre la implementación de la ZBE, el régimen sancionador y la reducción de la contaminación dentro de Madrid Central, evidenciando que las políticas urbanas estrictas pueden ayudar a mejorar la calidad del aire en ciudades con alta densidad vehicular.

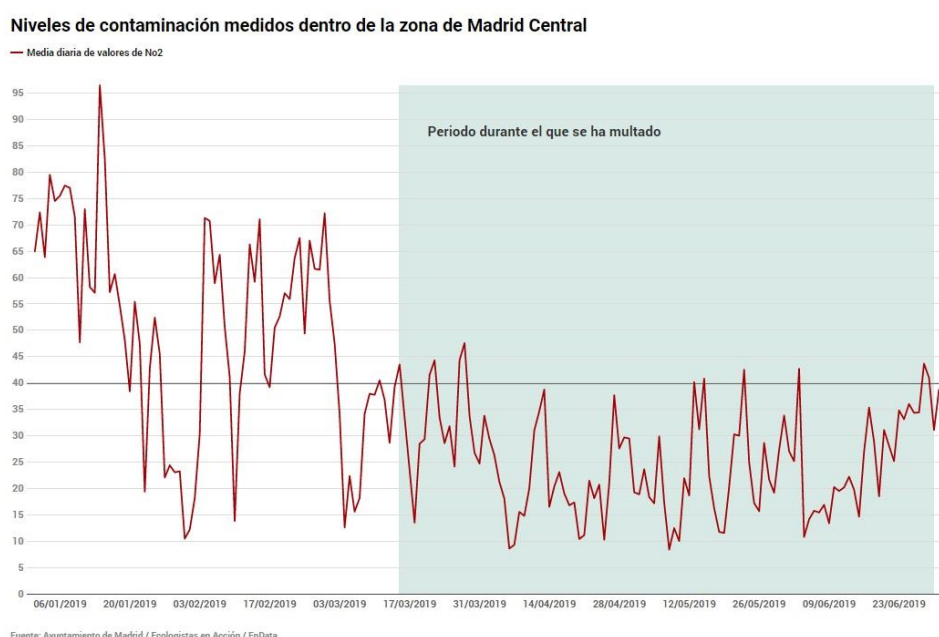


Figura 3.2. Reducción de NO₂ en Madrid Central (2018-2019). Efecto sancionador.

Fuente: Ayuntamiento de Madrid (2024) / Ecologistas en Acción (2022).

Por su parte, Barcelona, a través de su ZBE, ha visto disminuir los niveles de NO₂ un 11 %. En cuanto a las partículas, con la puesta en marcha de la ZBE se prevé una reducción de las emisiones de PM₁₀ de hasta un 39 % debido a las restricciones impuestas a los vehículos más contaminantes (Ayuntamiento de Barcelona, 2022; Área Metropolitana de Barcelona, s. f.) (véase Figura 3.3).

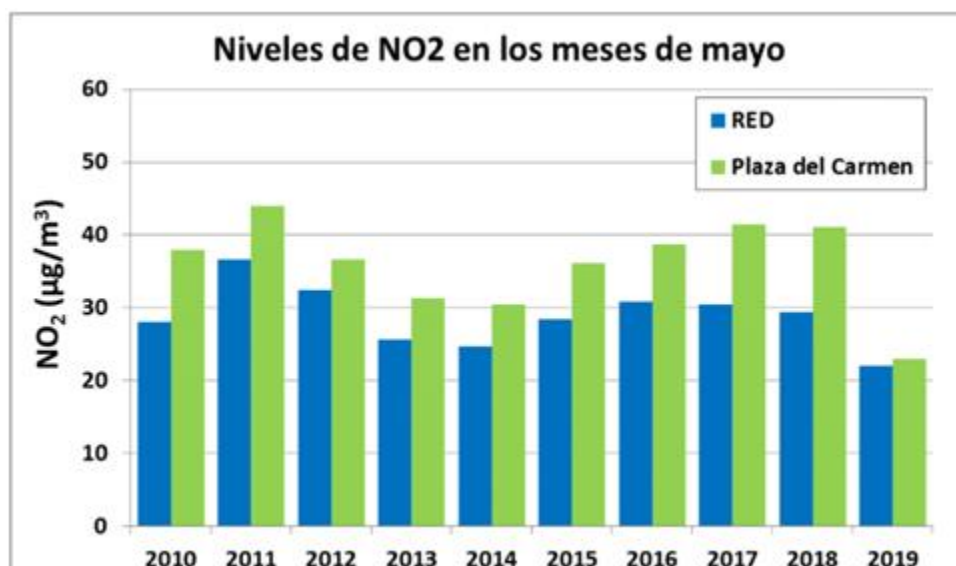


Figura 3.3. Disminución de NO₂ en la ZBE de Barcelona (2020).

Fuente: Ayuntamiento de Barcelona (2022), epdada.es.

La efectividad de las ZBEs no solo se mide en términos de calidad del aire, sino también en la promoción de modos de transporte sostenibles, como el uso del transporte público, la bicicleta o el desplazamiento a pie. Estas transformaciones han contribuido a una urbanización más verde y han favorecido políticas centradas en el desarrollo urbano orientado al peatón. En este sentido, un estudio reciente sobre la ZBE de Madrid ha evidenciado un cambio modal significativo. Los modos de transporte más beneficiados fueron el transporte público y los modos activos (caminar e ir en bicicleta), con un aumento de cuota modal cercano al 10 % (Tarrío-Ortiz, Gómez, Soria-Lara y Vassallo, 2022).

Sin embargo, la implementación de las ZBEs no está exenta de desafíos. La resistencia de ciertos grupos sociales y económicos, junto con la necesidad de adaptar infraestructuras y equipamientos urbanos, ha supuesto barreras que requieren una planificación cuidadosa y un enfoque colaborativo entre autoridades locales y nacionales para garantizar el éxito a largo plazo de estas zonas. En España, la implementación de ZBE varía según el municipio, con Madrid y Barcelona liderando el desarrollo de estas zonas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.a).

3.2.3 Desafíos y barreras para la implementación de una ZBE

La implementación de las ZBEs enfrenta múltiples desafíos que dificultan su materialización en entornos urbanos, a pesar de la creciente evidencia sobre sus beneficios

para la calidad del aire y la salud pública. A continuación, se detallan los principales obstáculos:

1. **Resistencia política y social:** sectores políticos y sociales pueden manifestar oposición a las ZBEs, percibiéndolas como restricciones a la libertad de circulación y temiendo posibles impactos negativos en la economía local. Además, cambios en las administraciones municipales tras elecciones pueden alterar las prioridades políticas, poniendo en riesgo la continuidad de estas iniciativas.
2. **Incumplimiento legal:** a pesar de la obligación establecida por la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, muchas ciudades no han implementado las ZBEs. Esta inacción ha motivado investigaciones por parte de entidades como el Defensor del Pueblo. Según un artículo de El País, solo una veintena de los 151 municipios de más de 50.000 habitantes habían activado estas áreas a finales de 2024, a pesar de los fondos públicos destinados a su implementación (El País, 2024).
3. **Desafíos técnicos y logísticos:** la efectividad de una ZBE depende de un control de acceso riguroso y una delimitación precisa de la zona. La carencia de infraestructura adecuada o errores en el diseño puede limitar la eficacia de las medidas implementadas.
4. **Cuestiones jurídicas:** en algunas ciudades, las ZBEs han enfrentado impugnaciones legales debido a vicios formales, lo que ha complicado y, en ocasiones retrasado, su implementación.
5. **Falta de coordinación y planificación integral:** muchos planes carecen de un calendario de ejecución claro, indicadores de resultados y presupuesto adecuado, lo que limita su implementación efectiva. Además, la falta de coordinación con otras políticas sectoriales puede mermar su eficacia.

Para superar estos desafíos es esencial fortalecer la legislación, asegurar el compromiso político y social, y establecer planes de implementación bien estructurados y financiados que permitan a las ZBE alcanzar su máximo potencial en la mejora de la calidad del aire urbano.

4 ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio del trabajo es exclusivamente el municipio de Santander. La justificación del área de estudio en el municipio de Santander se fundamenta, en primer lugar, en su condición de capital regional de Cantabria (España) y en su alto peso demográfico, superior a los 50.000 habitantes establecidos por la Ley 7/2021. A 1 de enero de 2024, Santander contaba con 173.635 habitantes, lo que representaba aproximadamente el 29,38 % de la población total de Cantabria, cifrada en 590.851 personas (Instituto Nacional de Estadística, 2024). Aunque esta proporción ha descendido ligeramente con respecto al año 2021 (29,41 %), ello se debe al crecimiento más acelerado de los municipios colindantes como Camargo, Astillero y Santa Cruz de Bezana, donde el aumento anual de población ha sido del 1,5 %-2 %, con la excepción del periodo 2013–2016 marcado por la crisis económica (Santander, Hábitat Futuro, 2022). Esta dinámica refleja una tendencia de peri-urbanización y consolidación de un área urbana integrada más allá de Santander, en parte inducido por los altos precios de la vivienda en la ciudad, la expansión residencial en los municipios vecinos de Santander y la existencia de infraestructuras de transporte de gran capacidad como la A-67, la S-10, la S-30 y la A-8 que facilitan la movilidad.

Además, la densidad de población en Santander alcanza los 4.812 habitantes por kilómetro cuadrado, una cifra que supera con creces la media autonómica, ubicada en 112 habitantes/km², lo cual implica una mayor concentración de viviendas, actividad económica, desplazamientos y emisiones, variables clave para una peor calidad del aire.

En la Figura 4.1 se ha representado la densidad de población en las secciones censales en las que está dividido el municipio de Santander. Se observa que los barrios con más densidad de población corresponden con las zonas que rodean las calles Castilla-Hermida, San Fernando-Vargas, Calle Alta-Jesús de Monasterio y calle Guevara-Ayuntamiento. Con una densidad media-alta, nos encontramos con las zonas de Puertochico, Tetuán, General Dávila y Paseo Pereda-Castelar. Las zonas mencionadas de alta densidad de población, deberían tener una mayor prioridad en las fases iniciales de la implantación de las zonas de bajas emisiones, frente a las zonas con una menor densidad de población como son las zonas de El Sardinero, San Román, Monte o Peñacastillo.

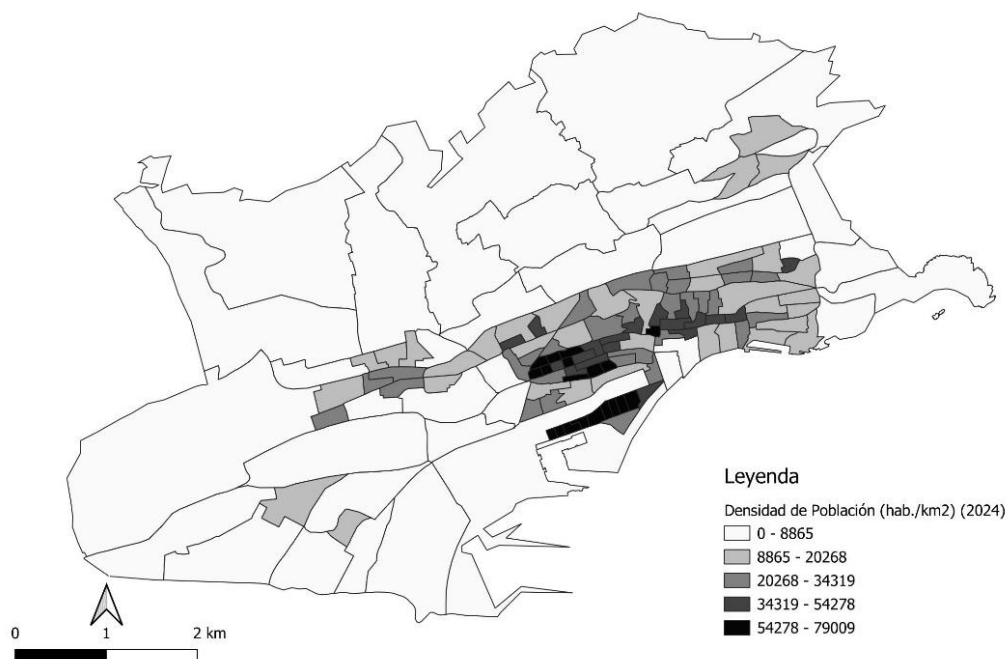


Figura 4.1. Densidad de población en las secciones censales del municipio de Santander.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2024). Elaboración propia.

El papel de Santander como epicentro económico, financiero y administrativo de la comunidad, realza aún más su relevancia en el análisis medioambiental. Confluencias viarias como las autovías A-8 y A-67 cerca de la bahía, junto a sectores industriales en la ciudad y su entorno, como siderurgia, química, actividad portuaria y tráfico aéreo, generan emisiones que favorecen la formación de ozono troposférico, afectando también al interior de la región, aunque a niveles moderados (Ecologistas en Acción, 2024).

Según el estudio Santander, Hábitat Futuro (2023b), es posible afirmar que los 4 elementos o focos de contaminación más relevantes, en cuanto a la calidad del aire se refiere en nuestra zona de estudio, son: el tráfico rodado, la actividad industrial, el comercio y las calefacciones domésticas.

En la Figura 4.2 y en la Tabla 4.1 se muestra la IMD (Intensidad Media Diaria) de los vehículos en distintos puntos del área de estudio, las cuales suponen uno de los principales focos de contaminación. Los datos se han obtenido gracias a las llamadas espiras o bucles magnéticos, los cuales son sensores situados en el asfalto que contabilizan con gran precisión el paso de vehículos. Santander cuenta con 200 de estas espiras, de las cuales se ha contado con los datos de 20 obtenidas del informe Santander, Hábitat Futuro (2023a).

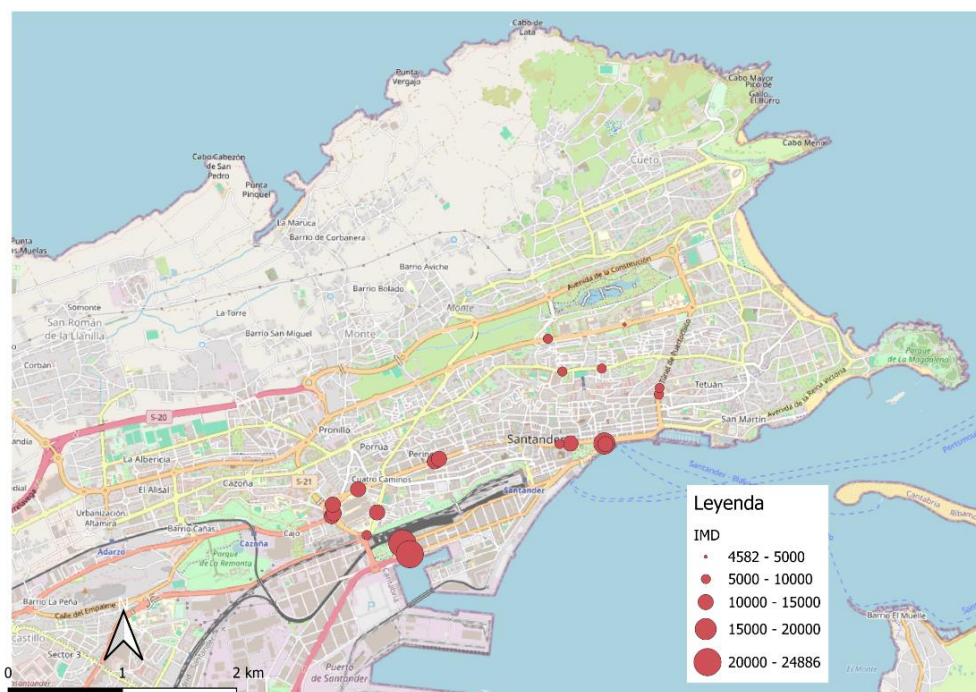


Figura 4.2. Intensidad Media Diaria en distintas espiras del municipio de Santander.

Fuente: Santander, Hábitat Futuro (2023a), Ayuntamiento de Santander. Elaboración propia.

La ciudad soporta diariamente la entrada de una media de 170.000 vehículos, de los cuales la mitad accede por la S-10 (unos 86.000 vehículos) (Santander, Hábitat Futuro, 2023a).

La Tabla 4.1 complementa a la Figura 4.2 ya que, aunque se aprecian claramente en el mapa los puntos con un IMD alto, en casos como el Paseo Pereda o en la calle San Fernando-Vargas no se aprecia con claridad la dirección del tráfico.

El periodo comprendido entre los años 2019 y 2021, vemos un descenso de IMD en todos los puntos, exceptuando Valdecilla dirección Cuatro Caminos y Paseo de Altamira dirección Miranda. Este descenso generalizado es un proceso muy común en el resto de ciudades españolas y europeas, en el que ha podido influir la cercanía de la pandemia de la COVID-19.

En el caso de la calle Castilla-Hermida, también nos encontramos con el mayor punto de entrada a la ciudad que conecta con la S-10 junto a la conexión portuaria, lo cual supone una IMD de vehículos elevada. Las espiras del centro de Santander, ubicadas en San Fernando y en el Túnel del Centro Botín, presentan una IMD de más de 10.000 vehículos, definiendo un entorno urbano de mayor carga contaminante a nivel local (Gobierno de Cantabria, 2020).

Eje	Dirección	IMD 2019	IMD 2021	% 19-21
Valdecilla	Cajo	10.766	10.408	-3,33%
	Cuatro Caminos	13.626	14.001	2,75%
San Fernando	Ayuntamiento	13.026	10.989	-15,64%
	Cuatro Caminos	10.828	10.352	-4,40%
Calvo Sotelo	Puertochico	11.152	10.321	-7,45%
	Valdecilla	8.479	8.235	-2,88%
Túnel Tetuán	Puertochico	8.408	8.387	-0,25%
	Sardinero	9.345	8.365	-10,49%
Paseo Altamira	Osos	8.511	7.750	-8,94%
	Miranda	6.731	6.855	1,84%
Los Castros	Alisal	9.685	8.946	-7,63%
	Sardinero	4.811	4.582	-4,76%
Túnel Botín	Paseo Pereda	14.036	13.019	-7,25%
	Castilla	17.398	15.761	-9,41%
Castilla	Salida	26.745	23.296	-12,90%
Marqués de la Hermida	Entrada	27.735	24.886	-10,27%
Distribuidor de la Marga	Los Castros	11.704	11.232	-4,03%
	La Marga	11.286	11.020	-2,36%
J.S. De la Maza	Cuatro Caminos	15.395	14.616	-5,06%
	La Marga	7.745	7.364	-4,92%

Tabla 4.1. IMD de los principales ejes de la ciudad de Santander.

Fuente: Santander, Hábitat futuro (2023a). Ayuntamiento de Santander.

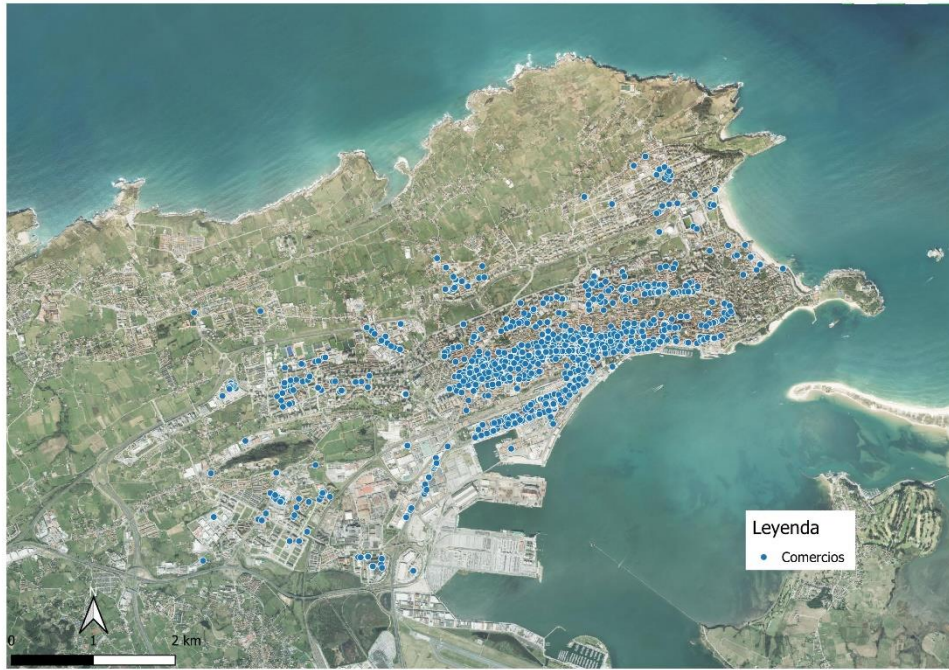


Figura 4.3. Distribución de las actividades comerciales en el municipio de Santander

Fuente: OpenStreetMaps. Elaboración propia.

En la Figura 4.3 se muestra la distribución de los comercios de Santander, extraídos de los datos de OpenStreetMaps. Estos datos incluyen todo tipo de comercios minoristas y también oficinas bancarias y cajeros automáticos. La distribución del comercio presenta cierta relación con la densidad de población. Existe una fuerte concentración comercial en el eje principal de la ciudad (Puertochico-Cuatro Caminos) y sus áreas cercanas, así como en ejes secundarios como el Barrio Castilla-Hermida y el Paseo de Altamira. Estas zonas comerciales atraen más desplazamientos, por lo que deberían ser prioritarias a la hora de establecer la ZBE, pero también puede generar conflictos entre los comerciantes y el Ayuntamiento a la hora de implantar la ZBE, alegando básicamente a un menor tránsito de personas que pueda afectar a las ventas comerciales.

Considerando los modos de transporte utilizados por la población para desplazarse, según el documento de actualización del plan de movilidad sostenible redactado en 2010, *“el 51,7 % de los viajes se realizaron en vehículo motorizado particular, el 41,6 % a pie, el 5,3 % en autobús y el 1,2 % en bicicleta”* (WSP, 2025). Esta partición modal indica que el peso del vehículo motorizado particular para los desplazamientos en la ciudad es elevado, mientras que el uso del transporte público o de la bicicleta aún presentan un uso relativamente reducido.

En el transporte público en bus, como podemos observar en la Figura 4.4, la mayoría de las líneas del servicio de Transportes Urbanos de Santander se concentran en la dirección este-oeste, principalmente en el eje central Puertochico-Cuatro Caminos, el cual presenta diversas líneas solapadas como la Central, 1, 2, 3,7 y otras. El eje norte-sur, en cambio, presenta pocas líneas y las frecuencias son en general más bajas. Barrios como Monte, Cueto o Peñacastillo, tienen líneas con menor frecuencia y recorridos más largos. Por último, el Paseo Altamira tiene dos líneas (5C1/5C2) las cuales presentan un uso elevado (Verdes Equo Cantabria, 2025).



Figura 4.4. Recorridos de líneas TUS y paradas en el entorno de la ZBE.

Fuente: Transportes Urbanos de Santander (TUS).

En cuanto al parque móvil de la ciudad, en el año 2024 lo componen un total de 100.967 vehículos. De estos, 88.552 son turismos, 10.653 comerciales, 1.509 industriales y 253 autobuses (WSP, 2025). En cuanto a etiquetas medioambientales se refiere, y nos interesa para nuestro estudio, únicamente el 1,19 % tienen etiqueta 0. El 5,80 % tiene etiqueta ECO, el 35,26 % etiqueta C, el 29,59 % etiqueta B y el 28,16 % no presentarían etiqueta (WSP, 2025).

Esto nos indica un parque móvil bastante contaminante, por encima de la media nacional, en donde la suma de la etiqueta C y B suponen 2 de cada 3 vehículos. A esto hay que sumarle que el uso de vehículo privado es el prioritario, el cual está demostrado que es el que más contamina por persona, frente a las otras formas de transporte (público, a pie o en bicicleta).

Santander, como el resto de ciudades españolas, tiene un mayor tráfico en los días laborables que en fin de semana. Durante el día, encontramos dos horas punta: por la mañana, con los desplazamientos de casa al trabajo y centros educativos, y por la tarde, sobre las 18 horas, coincidiendo con la vuelta del trabajo (WSP, 2025). Por último, es importante recalcar que el tráfico en la ciudad es bastante regular durante todo el año, ya que, al tratarse de una ciudad turística, en la época estival no se reduce como pasa en otras ciudades españolas, sobre todo del interior.

5 LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA DE ESTUDIO

5.1 ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE Y PARÁMETROS UTILIZADOS

En la ciudad de Santander encontramos dos estaciones de medición de la calidad del aire del Gobierno de Cantabria, que forman parte de su red de 11 estaciones fijas distribuidas por toda la región. Estas estaciones son gestionadas por el Centro de Investigación del Medio Ambiente (CIMA) desde el año 1998, organismo autónomo dependiente de la Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del territorio y Medio Ambiente (Gobierno de Cantabria, 2025). La primera de ellas, denominada “Santander Centro”, se sitúa junto al complejo ferroviario en la Plaza de las Estaciones, núcleo de comunicaciones de la ciudad. Mientras que la segunda corresponde a la estación “Tetuán”, ubicada en la calle Tetuán, en un área residencial-administrativa del municipio (Figura 5.1).

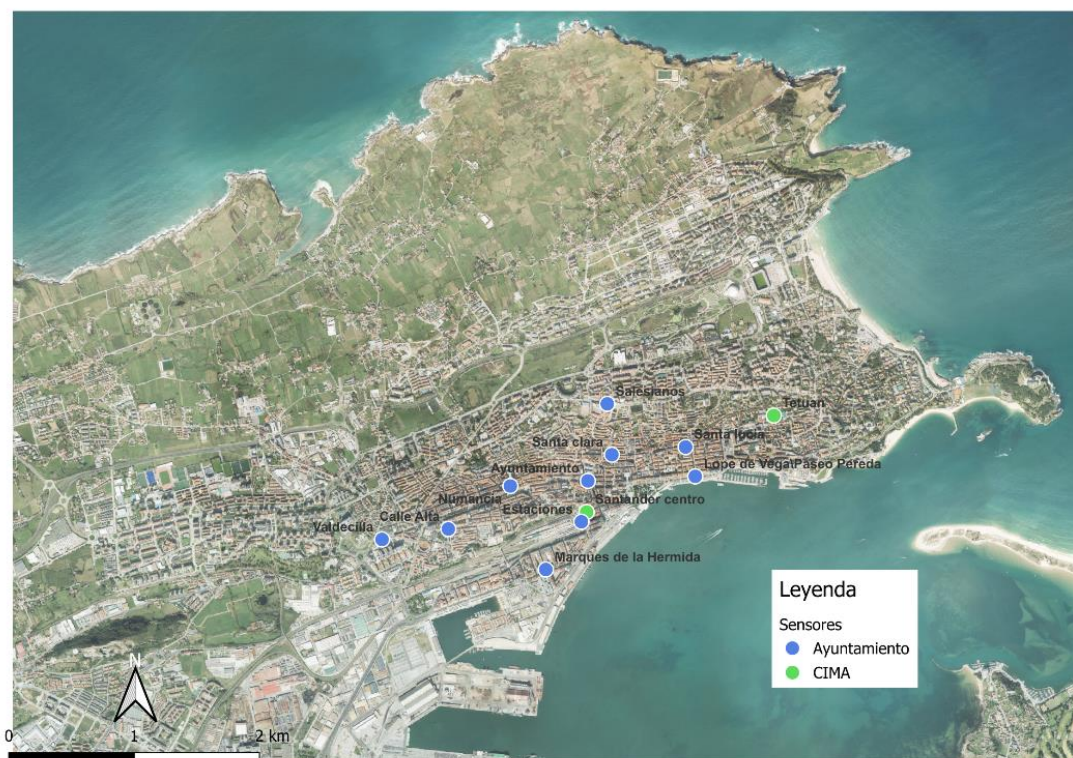


Figura 5.1. Mapa de los sensores-estaciones de calidad del aire gestionadas por el Ayuntamiento de Santander y por el CIMA.

Fuente: WSP (2025). Elaboración propia.

La estación de “Santander Centro” se cataloga como *“urbana de tráfico, situada en una zona urbana con gran influencia de las vías de tráfico en sus alrededores”*. Mientras que la estación de “Tetuán” se considera *“urbana de fondo, situada en zonas urbanas cuyos niveles sean representativos de la exposición de la población urbana en general”* (Gobierno de Cantabria, 2020). Esta última estación soporta mucho menos tráfico que la de “Santander-Centro”, pero también presenta ciertas horas “punta”, debido a la ubicación de centros educativos, centro de salud y el centro deportivo Emilio Botín.

En el plan estratégico Santander, Hábitat Futuro (2023c), el cual tiene su meta en el año 2055, se subdivide la ciudad en 32 barrios para su posterior análisis. En nuestro caso, la estación de “Tetuán” se encuentra ubicada en el barrio Tetuán-Gamazo, mientras que la estación “Santander-Centro” se encuentra situada en el barrio Estaciones-Catedral.

En la Figura 5.2, se muestran algunos datos brutos sobre los dos barrios donde están localizadas las estaciones de calidad del aire. Como datos interesantes para este estudio y para la implantación de una ZBE, vemos que la población de estos dos barrios podría

crecer. Para el año 2055 se estima un incremento máximo del 29 % y 23 % en su población, respectivamente.

Por otro lado, el barrio de Estaciones-Catedral soporta una mayor densidad de viviendas residenciales que Tetuán, que, unido a una menor extensión de equipamiento público y de zonas verdes, hacen que ese barrio presente, a priori, mayor necesidad de implantación de una ZBE.

Datos generales actuales y propuestos	Tetuán - Gamazo	Datos generales actuales y propuestos	Estaciones - Catedral
Población actual: 2020 (hab)	5.997	Población actual: 2020 (hab)	7.320
Población prevista máxima: 2055 (hab)	7.745	Población prevista máxima: 2055 (hab)	9.019
Superficie total (m²)	378.629	Superficie total (m²)	221.673
Viviendas existentes: 2022 (nº)	3.661	Viviendas existentes: 2022 (nº)	4.395
Viviendas potenciales: propuesta (nº)	3.634	Viviendas potenciales: propuesta (nº)	4.395
Densidad actual (hab/ha)	181	Densidad actual (hab/ha)	448
Densidad potencial: propuesta (hab/ha)	182	Densidad potencial: propuesta (hab/ha)	448
Superficie terciaria (m²c)	28.063	Superficie terciaria (m²c)	129.351
Superficie terciaria potencial: propuesta (m²c)	28.063	Superficie terciaria potencial: propuesta (m²c)	129.351
Equipamiento público (m²s)	90.369	Equipamiento público (m²s)	19.542
Equipamiento público potencial: pendiente de ejecutar y propuesta (m²s)	6.667	Equipamiento público potencial: pendiente de ejecutar y propuesta (m²s)	2.034
Parques: >10.000m² (m²)	0	Parques: >10.000m² (m²)	0
Jardines: 1.000-10.000m² (m²)	11.181	Jardines: 1.000-10.000m² (m²)	4.276
Áreas de juego: 200-1.000m² (m²)	10.571	Áreas de juego: 200-1.000m² (m²)	4.476
Zonas verdes: total (m²)	21.752	Zonas verdes: total (m²)	8.752
Zonas verdes potenciales: pendientes de ejecutar y propuesta (m²)	5.137	Zonas verdes potenciales: pendientes de ejecutar y propuesta (m²)	0

Figura 5.2. Datos generales actuales y propuestos del Plan de barrios para Tetuán-Gamazo y Estaciones-Catedral.

Fuente: Santander, Hábitat futuro (2023c).

El CIMA utiliza una serie de seis colores diferentes para indicarnos el índice de calidad del aire, desde buena, hasta extremadamente desfavorable. En cuanto a las estaciones de nuestra zona de estudio, ambas recogen 6 parámetros, en los cuales, cinco son comunes y únicamente el BTX (benceno, tolueno y xilenos) en Santander centro y el O₃ (ozono) les diferencia. Ninguna de las dos, disponen de torre meteorológica por lo que no miden este tipo de parámetros.

A través de los informes anuales de calidad del aire que emite el CIMA (el último del año 2023), podemos extraer información sobre la evolución de las emisiones en las distintas áreas (Centro de Investigación del Medio Ambiente, 2023).

El Ayuntamiento de Santander ha instalado además 10 sensores-estaciones adicionales repartidos a lo largo de la ciudad (Figura 5.1), con el objetivo de tener una evaluación más precisa del estado de la calidad del aire en la ciudad, y de permitir el diseño y

evaluación de su ZBE (WSP, 2025). Estos sensores están situados únicamente en lo que el Instituto Nacional de Estadística considera entidad singular de población de Santander en el Noménclator, englobando una población total de 126.690 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2024), quedando fuera barrios como Cueto, Monte, La Albericia, El Alisal, Cazoña, Peñacastillo, Nueva Montaña o San Román que, como ya se ha visto, tienen en general una densidad de población menor.

Estos 10 nuevos sensores se unen a las dos estaciones de CIMA que ya se encontraban operativas, sumando un total de 12 puntos de medición. En las dos estaciones de CIMA, la medición del componente $PM_{2,5}$ no se realizaba. Por el contrario, en la totalidad de los sensores del Ayuntamiento se miden estas micropartículas.

5.2 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS EN LA CALIDAD DEL AIRE

El comportamiento de los contaminantes está muy condicionado por la situación meteorológica. En los meses fríos, especialmente en días con temperaturas bajas y viento muy débil, se forman inversiones térmicas que atrapan el aire contaminado cerca del suelo. En estas condiciones, se ha observado un aumento notable en las concentraciones de partículas finas ($PM_{2,5}$), que pueden llegar a ser un 30 % más altas que en situaciones con mejor ventilación (Milena, 2021).

Durante los meses de verano, la mayor radiación solar favorece la formación de ozono troposférico, que puede alcanzar niveles elevados, con registros superiores a los 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en julio y agosto. Este fenómeno se ha visto reforzado por el aumento de las temperaturas medias en las últimas décadas (Atmosphere Copernicus, 2024).

La brisa marina, de origen noroeste, es un factor importante en la dispersión de contaminantes. Su presencia regular (alrededor del 70 % de los días) ayuda a renovar el aire en las zonas costeras y a desplazar la contaminación hacia el interior (Arteche García et al., 2004). En cambio, la estructura del casco urbano con calles estrechas y edificios altos, dificulta esa ventilación, generando lo que se conoce como efecto cañón, que favorece la acumulación de contaminantes, especialmente en las horas punta de tráfico (Carlo, 2023).

Es importante recalcar la condición de Santander como zona costera, ya que *“las brisas marinas desplazan durante el día los contaminantes hacia el interior y durante la noche*

hacia el mar. Por otra parte, los núcleos urbanos, influyen en el movimiento de las masas de aire, por la presencia de edificios (frena la velocidad del viento) o la disposición de las calles (crean turbulencias). Asimismo, se produce el efecto de isla de calor, que supone una temperatura más alta en el interior de la ciudad que en la periferia, como consecuencia del calor generado por las actividades humanas, que dificulta la dispersión de contaminantes” (Boldo, 2016, pp.32-33).

5.3 DATOS HISTÓRICOS Y VALORACIÓN

Desde 2015, la media anual de dióxido de nitrógeno (NO₂) en la estación del CIMA “Santander-Centro”, ha caído de algo más de 32 µg/m³ a 22 µg/m³ en 2023, mientras que en Tetuán el descenso fue de 24 µg/m³ a 19 µg/m³ en el mismo intervalo temporal (Centro de Investigación del Medio Ambiente, 2023). Ambos valores cumplen holgadamente el límite legal de 40 µg/m³ fijado por el Real Decreto 102/2011 (Real Decreto 102/2011), pero siguen duplicando la referencia sanitaria de 10 µg/m³ propuesta por la OMS en sus directrices de 2021. Esa brecha normativa-sanitaria justifica que se planteen medidas de control en la futura ZBE.

La tendencia de las partículas PM₁₀ es más lenta: en Santander-Centro la media anual pasó de 34 µg/m³ antes de la pandemia, a algo menos de 20 µg/m³ en 2023, y en Tetuán de 26 µg/m³ a 17 µg/m³ (Centro de Investigación del Medio Ambiente, 2023). El confinamiento de 2020 provocó un desplome puntual cercano al treinta por ciento, un comportamiento observado en la mayor parte de las ciudades españolas, según la Agencia Europea de Medio Ambiente y otros análisis basados en teledetección que cuantifican recortes de NO₂ de hasta el cuarenta por ciento en la primera semana de restricciones (Keller et al., 2021). Aun así, los valores actuales de PM₁₀ continúan por encima del umbral de 15 µg/m³ recomendado por la OMS, de modo que la exposición poblacional sigue considerándose poco saludable.

El ozono troposférico (O₃), por su parte, permanece estable: el número de superaciones del objetivo legal (25 días al año por encima de 120 µg/m³ en promedio octohorario) rara vez rebasa los tres episodios anuales y se concentra en julio y agosto (Centro de Investigación del Medio Ambiente, 2023). Este patrón estival es típico de las ciudades cantábricas, donde la brisa marina diurna y la subsidencia nocturna, favorecen la formación fotoquímica del O₃, tal como describen los estudios clásicos sobre la brisa cantábrica.

El tráfico rodado sigue siendo la fuente dominante de NO_2 y de buena parte de las partículas: vías como la avenida Antonio López o el eje Castilla-Hermida registran, como ya se ha comentado, IMD elevadas. A ello se suma la actividad portuaria, cuyos muelles emiten NO_x (óxidos de nitrógeno) y PM durante las maniobras, tal y como reconoce la Autoridad Portuaria en su Declaración Medioambiental (Autoridad Portuaria de Santander, 2023). La ventilación natural se ve condicionada por la morfología urbana en “cañón” y por las inversiones térmicas invernales, mientras que eventos externos, como la intrusión sahariana de marzo 2022 que tiñó de rojo el cielo cántabro y disparó las PM_{10} , elevan puntualmente los registros a valores “extremadamente desfavorables” (Agencia Estatal de Meteorología, 2022).

El Ayuntamiento de Santander ha realizado mediciones de la calidad del aire desde el 1 de septiembre de 2024 hasta el 31 de mayo de 2025, con su red de sensores. El Ayuntamiento ha obtenido información de 6 parámetros: dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), micropartículas (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) y Ozono (O_3). Las mediciones se han dividido en indicadores horarios, octohorarios, diarios y anuales.

Las conclusiones más relevantes de los datos recogidos durante estos meses, centrándonos en los valores medios anuales, son los siguientes. Respecto al NO_2 , se produce un incumplimiento total de las estaciones sobre el máximo recomendado por la OMS, mientras que se cumple en todas ellas las directrices máximas de la legislación (la calle Alta se encuentra al límite de superarlo).

Las micropartículas PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$, también incumplen los máximos recomendados por la OMS. Además, se producen incumplimientos puntuales en la calle Alta y Plaza de las Estaciones de $\text{PM}_{2,5}$, según los valores de la legislación. Por último, se cumplen los criterios de la normativa en PM_{10} en el resto de estaciones (Marques de la Hermida y Valdecilla, están cerca del límite). (WSP, 2025).

Según el informe de WSP (2025), *“En el cómputo general de calidad del aire, se ven incumplimientos en seis de los diez puntos: Santa Lucía y Salesianos (O_3), Marqués de la Hermida (PM_{10}), Valdecilla (O_3 y PM_{10}), Calle Alta (NO_2 y $\text{PM}_{2,5}$) y Plaza de las Estaciones (CO, $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} y O_3). Los contaminantes que presentan peores ratios de incumplimiento son, por lo tanto, las micropartículas (ya sean $\text{PM}_{2,5}$ o PM_{10}) y el ozono”.*

En síntesis, Santander cumple los límites jurídicos europeos desde hace años, pero la totalidad de sus 173.635 habitantes, cifra del padrón continuo a 1 de enero de 2024 (Instituto Nacional de Estadística, 2024), sigue expuesta a concentraciones de NO₂ y PM, que duplican las recomendaciones sanitarias, situación que la Agencia Europea de Medio Ambiente vincula todavía a mortalidad prematura en las áreas urbanas europeas (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2022). Este diagnóstico confirma que la Zona de Bajas Emisiones propuesta en el apartado siguiente, no es solo una exigencia legal, sino un paso que puede ser útil para garantizar un aire más saludable en la capital cántabra.

6 PROPUESTA DE ZONA DE BAJAS EMISIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

6.1 PROPUESTAS ACTUALES DEL AYUNTAMIENTO DE SANTANDER

Los resultados de la sección 5 demuestran que, aun situándose por debajo del techo legal europeo, los niveles medios de NO₂ (22 µg/m³) y PM₁₀ (19 µg/m³) siguen duplicando las guías sanitarias de la OMS, lo que expone a los 173.635 vecinos empadronados a una contaminación evitable (Centro de Investigación del Medio Ambiente, 2023). Con este telón de fondo, el Ayuntamiento ha activado una batería de actuaciones que, aunque todavía incompletas, dan la arquitectura básica de la futura Zona de Bajas Emisiones.

En primer lugar, la red de monitorización. El 12 de enero de 2024 concluyó la instalación de diez estaciones multiparámetro ya reseñados, además de cuarenta sonómetros y 455 sensores de aparcamiento, todos ellos integrados en una plataforma de datos abierta; el contrato fue adjudicado a Telefónica dentro de los fondos europeos de movilidad (Ayuntamiento de Santander, 2022). Estos equipos están proporcionando las series de datos que servirán también para activar medidas dinámicas en posibles episodios de mala calidad del aire (Ayuntamiento de Santander, 2024b).

En paralelo, la parte tecnológica de control de accesos, quedó resuelta el 18 de abril de 2024. La Junta de Gobierno adjudicó a Estacionamientos y Servicios S.A.U., la implantación y mantenimiento de la plataforma de gestión por 1,34 millones de euros con financiación del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia; el pliego contempla veinte pórticos de lectura automática de matrículas y un plazo máximo de ocho meses desde que el Consistorio entregue el mapa definitivo de la zona.

Para la redacción técnica del proyecto, el Ayuntamiento recurrió, en febrero de 2025, a un contrato menor de 18.000€ con la consultora WSP Spain-APIA, que disponía de doce meses para fijar el perímetro, los criterios de acceso y la señalización (El Faradio, 2025). Este contrato se ha materializado en el informe realizado por la empresa (WSP, 2025).

La infraestructura municipal de tráfico se está adaptando al nuevo sistema. El 4 de mayo de 2025 se adjudicó la sustitución de 27 cámaras analógicas por otras digitales, con un importe de 112.392€, a la Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, con el objetivo de integrar señalización, semáforos y pórticos ZBE en un solo centro de mando (Ayuntamiento de Santander, 2025). Es la segunda fase de la digitalización del Centro de Control de Tráfico, que gestiona 177 cruces y 49 cámaras en tiempo real.

Todo el paquete se financia con 6,65 millones de euros de fondos europeos vinculados al programa «Fomento de la movilidad sostenible, impulso del cambio modal y mejora de la accesibilidad peatonal». De este fondo dependen 342.000€ destinados expresamente a la plataforma de control; si la ZBE no está operativa antes de 2026, el Ayuntamiento tendrá que reintegrar esa ayuda y podría perder el 30 % de la bonificación estatal al transporte público (elDiario.es, 2025).

En conjunto, Santander cuenta ya con la sensórica ambiental, el adjudicatario de la plataforma, un borrador de ordenanza y un proyecto técnico en marcha; falta aprobar el mapa, desplegar las cámaras y cerrar el calendario sancionador.

En junio de 2025, con la presentación del informe-proyecto de la empresa WSP, el Ayuntamiento de Santander dio a conocer su propuesta de ZBE, la cual se puede consultar en la Figura 6.1.

el Real Decreto 1052/2022 y las directrices del Ministerio para la Transición Ecológica, una ZBE debe delimitarse como un área geográfica continua, con restricciones coherentes y aplicables en todo su perímetro, evitando zonas fragmentadas o de escasa efectividad (Real Decreto 1052/2022 art. 1 y 3). Además, la normativa exige que estas áreas incluyan sistemas activos de control de acceso y monitorización, así como un régimen sancionador que garantice su eficacia real, evitando convertirse en meras zonas *fake* sin impacto real sobre la reducción de emisiones.

Otro criterio esencial es que la ZBE debe implantarse en zonas de elevada densidad de población y tráfico, tal como aconsejan las directrices nacionales y las experiencias de ciudades como Pamplona, Barcelona o Madrid. Estas áreas concentran la mayor parte de los desplazamientos urbanos y, por tanto, las emisiones contaminantes más significativas.

Asimismo, la implantación de una ZBE, debe considerar la continuidad urbana del área, garantizando que las restricciones no generen desplazamientos perimetrales que desplacen la contaminación a barrios limítrofes no incluidos en la zona, tal como advierten las directrices de la Unión Europea y las guías de implementación local.

En un contexto dado, una propuesta debería, por lo tanto, cubrir de forma continua el núcleo del área urbana, integrando, no solo el centro histórico, las zonas de alta densidad y los principales corredores viarios, sino también considerando los patrones residenciales y el entorno urbano circundante. De esta manera, se garantizaría la coherencia territorial, se maximizaría el impacto sobre la calidad del aire y se evitarían distorsiones en la movilidad urbana.

En la Tabla 6.1 se realiza una síntesis de criterios para el diseño de la ZBE. En ella podemos destacar que la ZBE tiene que estar muy claramente definida, es decir, con unos límites muy claros y horarios establecidos, sin presentar divisiones espaciales y procurando que no se produzca congestión en sus zonas anexas. Es importante fomentar un buen transporte público de calidad dentro de la ZBE y que las empresas ofrezcan incentivos a los trabajadores para que se desplacen a ella a pie, en bicicleta o en transporte público.

Es evidente que, para que todos estos criterios funcionen correctamente en la implantación de la ZBE, sus regulaciones deben ser monitorizadas y debe existir algún tipo de régimen sancionador. De cara a mejorar la aceptabilidad social, también es importante que haya una fase de consulta pública previa a la ciudadanía y que los criterios

de zonificación y la regulación de la ZBE sean claros y transparentes antes de la implantación.

Criterio	Características recomendadas
Normativa y marco legal	• Cumplimiento de los requisitos mínimos del Real Decreto 1052/2022 y su integración en los Planes de Movilidad según la Ley 7/2021 (Ley de Cambio Climático y Transición Energética).
Delimitación espacial	• Área geográfica continua, evitando fragmentaciones o subzonas aisladas. • Perímetro diseñado para impedir el “rebote” de contaminación hacia barrios colindantes.
Densidad poblacional y socioeconómica	• Foco en zonas de media-alta o alta densidad de población y edificaciones. • Concentración de actividades económicas que generen tráfico (comercio, oficinas, servicios).
Patrón de tráfico	• Inclusión de ejes con elevada Intensidad Media Diaria de tráfico privado. • Presencia significativa de oferta de transporte público (autobús, tranvía).
Continuidad urbana y efecto rebote	• Asegurar la conexión de la ZBE con el tejido urbano circundante. • Evitar que las restricciones desplacen la congestión a áreas limítrofes no reguladas.
Gestión y control de accesos	• Instalación de pórticos y cámaras de lectura automática de matrículas en todos los accesos. • Capacidad de medidas dinámicas en episodios de alta contaminación.
Monitorización y seguimiento	• Red de estaciones multiparámetro, sonómetros y sensores de aparcamiento. • Publicación anual de informes de calidad del aire y ruido.

Régimen sancionador	• Multas efectivas para los infractores, evitando ZBE “fake” sin repercusiones reales. • Publicación clara del régimen de sanciones en la ordenanza municipal.
Movilidad sostenible e incentivos	• Fomento de modos activos (peatonal y ciclista) y mejora del transporte público. • Incentivos para vehículos CERO y ECO (aparcamientos, bonificaciones fiscales).
Participación y comunicación	• Consulta pública previa a la aprobación de la ordenanza. • Transparencia en criterios de zonificación y periodos de moratoria.

Tabla 6.1. Criterios recopilados para el diseño de una ZBE.

6.3 PROPUESTA DE ZBE PARA EL MUNICIPIO DE SANTANDER

A partir de los criterios de diseño recopilados en el apartado anterior, en esta sección se plantea una propuesta regulatoria, infraestructural y de gobernanza para que Santander pueda disponer de una Zona de Bajas Emisiones eficaz. Esta propuesta también podría ser útil para futuras reformas en la ZBE que se acabe implantando en Santander. La propuesta se organiza en dos fases, más una fase cero. Este esquema sigue las directrices del MITECO para fases escalonadas. Para ello, se ha tenido en cuenta el análisis previo poblacional, de IMD y comercial, apoyados sobre las diferentes estaciones-sensores de calidad del aire.

Fase 0 (2025–2027): Zona de alta exposición a contaminantes

Delimitación: Norte: calles Profesor Jimenez Diaz y Cisneros. Este: calles Isabel II, Pasaje de Peña, Calle Alta, Cuesta de las Ánimas y Plaza Numancia. Sur: calles Antonio López, Avenida Sotileza y Marqués de la Hermida. Oeste: calles Jerónimo Sainz de la Maza y Avenida de José Hierro sin estar dentro de la ZBE (véase Figura 6.2).

Objetivo: Concentrar la primera intervención en el área con los valores más altos de NO₂ y PM_{2,5}, según los datos de calidad del aire recolectados. Esto incluye a tres de los barrios más densamente poblados de la ciudad: Castilla – Hermida, Calle Alta y San Fernando-Vargas. Estos barrios presentan además valores de IMD elevados (especialmente Castilla – Hermida como vías de salida y entrada a la ciudad). En esta primera fase no se incluye

en la ZBE el área del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, por ser un equipamiento básico, ni las vías de acceso Jerónimo Sainz de la Maza y Avenida de José Hierro. De esta forma los vehículos más contaminantes pueden entrar a la ciudad y conectar con el Paseo de Altamira y con todo el norte de la ciudad.

Alineación con criterios (véase Tabla 6.1):

- **Delimitación espacial:** zona continua y compacta, evitando subzonas aisladas.
- **Densidad poblacional y socioeconómica:** alta densidad residencial y comercial.
- **Patrón de tráfico:** Incluye ejes con IMD máximo (Calle Marqués de la Hermida, Calle Castilla).
- **Gestión y control de accesos:** deberían instalarse pórticos en los principales viales de entrada y salida.
- **Monitorización y seguimiento:** deberían instalarse estaciones multiparámetro y sonómetros en el perímetro.

Fase 1 (2028–2030): Anillo Paseo de Altamira–Valdecilla–Centro–Puertochico

Delimitación: Norte: Paseo de Altamira. Este: Paseo Canalejas, Calle de León Felipe y Calle de Menchubel. Sur: Calle Castelar, Paseo de Pereda y Antonio López. Oeste: Calle de Jerónimo Sainz de la Maza, Avenida de Segundo López Vélez, Avenida de Valdecilla y Avenida de Pedro San Martín (véase Figura 6.2).

Objetivo: Extender la ZBE a todo el núcleo urbano de la ciudad de Santander. Esto incluye los barrios más densamente poblados y con mayor presencia comercial. Esta área presenta, además, corredores con buena oferta de transporte público como posibles sustitutos de la movilidad en coche.

Alineación con criterios (véase Tabla 6.1):

- **Continuidad urbana y efecto rebote:** se integra de forma contigua con la ZBE delimitada en la Fase 0 para evitar el desplazamiento del tráfico y la contaminación hacia barrios no regulados.
- **Tráfico y transporte:** cubre calles de alta IMD (las calles Calvo Sotelo, Paseo Pereda, Paseo Altamira, Jerónimo Sainz de la Maza y Avenida Valdecilla) y ejes con líneas principales de autobús (líneas Central, 1,2).

- **Participación y comunicación:** Durante esta fase se podrían realizar consultas públicas parciales y talleres vecinales que permitan recoger información y demandas derivadas de la implantación de la Fase 0.
- **Régimen sancionador:** Debería estar ya operativo un régimen sancionador con multas automáticas a través de cámaras de lectura de matrículas.

Fase 2 (Posterior a 2030): Cobertura total del municipio

Delimitación: Todo el término municipal de Santander (véase Figura 6.2).

Objetivo: la extensión de la ZBE a todo el término municipal, permitirá evitar los problemas relacionados con el desplazamiento de tráfico y contaminación a las áreas que rodeaban la ZBE en la Fase 1. Se busca también una clara identificación de los límites de la ZBE por parte de los usuarios, así como implantar un límite dinámico de emisiones, que active o relaje restricciones según el ICA y datos de congestión en tiempo real. Dado que esta fase es más ambiciosa, se propone su implantación sin una fecha determinada, más allá del año 2030, cuando los usuarios y el parque de vehículos ya presenten una mayor adaptación a la fase 1.

Alineación con criterios (véase Tabla 6.1):

- **Normativa y marco legal:** programa flexible recogido en la ordenanza municipal y adaptable a futuros cambios normativos.
- **Gestión y control de accesos dinámicos:** sistema de pórticos conectado al Centro de Control de Tráfico, capaz de limitar el acceso a vehículos según alertas de calidad del aire.
- **Monitorización y seguimiento:** Uso de sensores y algoritmos predictivos para anticipar episodios de mala calidad del aire.

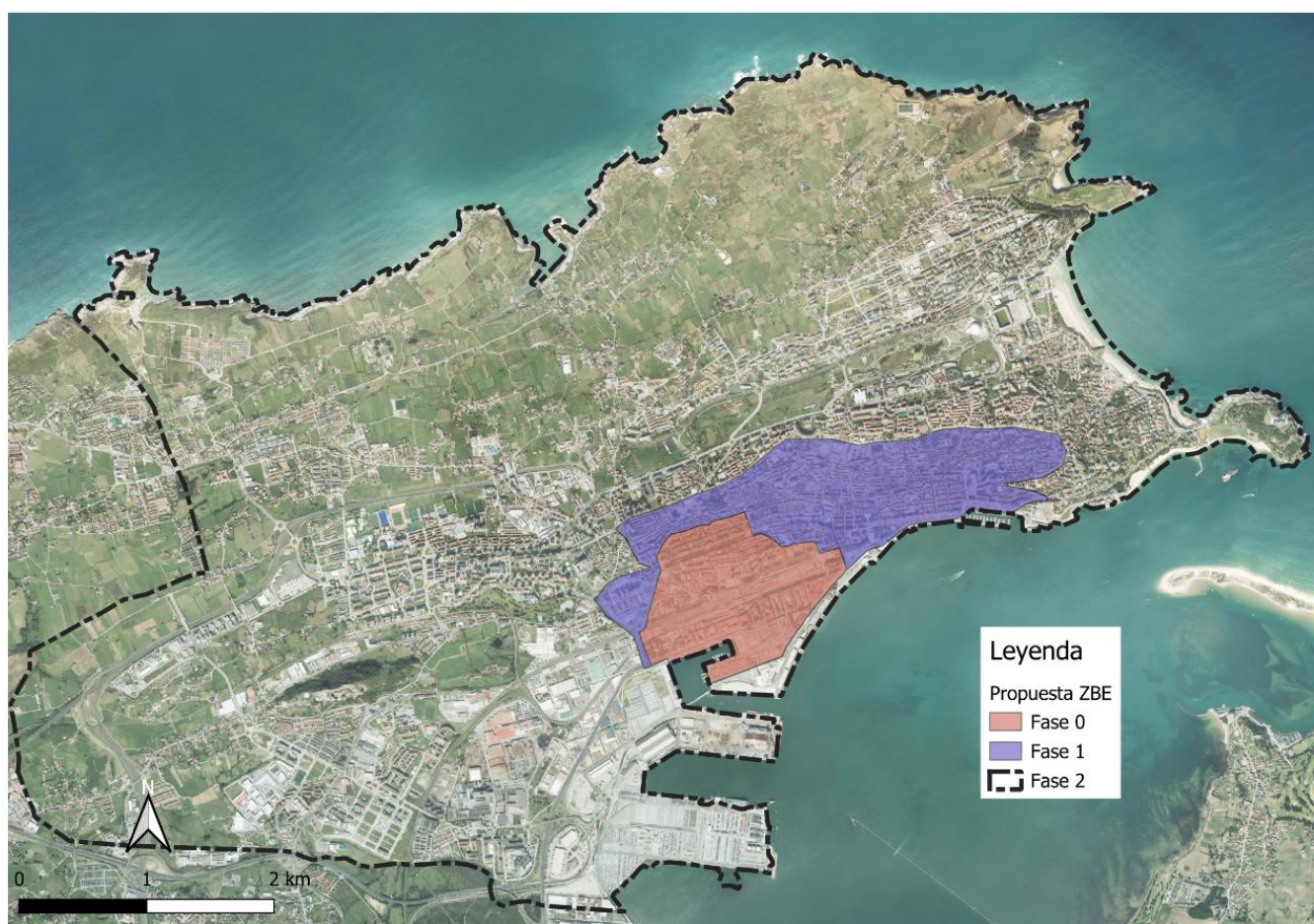


Figura 6.2. Mapa de la propuesta de ZBE en tres fases para Santander.

Regulación

Durante la fase 0 (Tabla 6.2) los vehículos residentes deberían quedar excluidos de posibles sanciones. A partir de la fase 2, se podrán realizar sanciones administrativas a la totalidad de la población residente. Durante todas las fases, el control por cámaras y los lectores de matrícula resultan claves para una buena monitorización de la ZBE.

Año	Etiqueta DGT autorizada	Vehículos exceptuados	Medida clave
Hasta 2027 (Fase 0)	ECO / 0 / C	Residentes, moratoria de 3 años. Vehículos descritos en la Fase 1	Control por cámara + aviso
Hasta 2030 (Fase 1)	ECO / 0	Vehículos de distribución urbana, Personas de Movilidad Reducida, Residentes de bajos ingresos,	Sanción administrativa

		Transporte público, emergencias y servicios esenciales	
Posterior a 2030 (Fase 2)	ECO / 0	Transporte público, emergencias y servicios esenciales	Restricción dinámica según ICA

Tabla 6.2. Propuesta de regulación escalonada de acceso y sanciones en la ZBE de Santander.

La implantación de las diferentes fases de ZBE podrían complementarse con las siguientes actuaciones de movilidad sostenible, para mejorar aún más la calidad del aire y potenciar los desplazamientos en modos alternativos al coche.

Transporte público y electrificación:

- Flota TUS 100 % eléctrica o híbrida en 2030. Los dos e-buses recibidos en 2024 deben convertirse en un plan de renovación total (más de 80 vehículos) aprovechando el crecimiento del mercado de autobuses de cero emisiones.
- Bus-lanzadera exprés + carril BUS-VAO entre La Marga y el centro urbano. Esta medida idealmente debería complementarse con la creación de un aparcamiento disuasorio al aire libre, frente al parque de la Marga en los terrenos del Puerto de Santander, de tal forma que los coches que no puedan acceder a la ZBE en la Fase 1 puedan aparcar en él y acceder a pie a la ciudad o por medio de una lanzadera. Otro aparcamiento disuasorio que puede incluirse, sería el de los campos de Sport del Sardinero. Se trata de un aparcamiento con una baja ocupación (excepto cada 15 días con motivo de los partidos y en la temporada estival).

Red ciclista y peatonal:

- Extender el carril bici periurbano PCTCAN-San Cibrián-Bezana, en donde hay partes sin finalizar donde el ciclista se tiene que incorporar a la carretera. Finalizar el carril bici de la Avenida de la Constitución (S-20), el cual presenta retrasos en la ejecución. En el tramo hasta Peñacastillo hay zonas sin continuidad del carril bici, como en el cruce del polígono Candina, que suponen un peligro para ciclistas y conductores.
- Completar la malla de “calles 30” en Barrio Pesquero, Tetuán y otros barrios para favorecer itinerarios peatonales de primer/último kilómetro para maximizar el efecto de la ZBE, ya que está ampliamente demostrado que se reducen los

accidentes mortales y se produce menor contaminación atmosférica y sonora (Ecologistas en Acción, 2013).

Incentivos a la movilidad con vehículos eléctricos:

- Bonificaciones automáticas para vehículos eléctricos y zonas de carga rápida en todo el municipio.

7 CONCLUSIONES

Los registros de calidad del aire analizados desde 2015 hasta 2025 muestran que Santander cumple los valores límite fijados por la legislación para contaminantes como NO₂, PM₁₀ y PM_{2,5}, aunque continúa duplicando los niveles recomendados por la OMS. Este diferencial confirma que las acciones vigentes resultan insuficientes si el objetivo es proteger la salud pública y evitar la mortalidad prematura asociada a la exposición crónica. Por tanto, la ciudad se enfrenta a la paradoja de ser “legal” pero tener márgenes de mejora de su calidad del aire. La evidencia respalda la necesidad de introducir medidas adicionales, entre ellas una Zona de Bajas Emisiones (ZBE), como herramientas para cerrar la brecha normativa-sanitaria a corto y medio plazo.

El tráfico rodado representa la fuente dominante de NO₂ y de buena parte de las partículas finas, especialmente en los ejes Castilla-Hermida, Antonio López y Valdecilla. A ello se añaden las emisiones portuarias y de otras fuentes con origen en actividades económicas y en los hogares.

La implementación de la ZBE, se presenta como la medida que puede ser eficaz para reducir la brecha normativa-sanitaria a corto y medio plazo en el ámbito de las emisiones provenientes del transporte. Una ZBE bien dimensionada y gestionada puede conseguir descensos cercanos o superiores al 20-30 % en las concentraciones de NO₂ y PM, como han demostrado experiencias en Madrid y Barcelona. No obstante, según los criterios técnicos propuestos, en la efectividad de una ZBE dependerá de un planteamiento integral que combine:

- Un diseño acorde a criterios técnicamente fundados.
- Un perímetro adaptativo, que evolucione en fases hasta cubrir gradualmente la totalidad de las zonas con mayores niveles de contaminación y evite el desplazamiento del tráfico y de las emisiones a áreas colindantes.

- Herramientas tecnológicas de control y monitorización en tiempo real, para activar medidas dinámicas ante episodios críticos.
- Otras medidas de apoyo a la movilidad sostenible, como la electrificación del transporte, la extensión de la red ciclista y soluciones como aparcamientos disuasorios.

Asimismo, la coordinación entre administraciones y agentes locales pueden resultar esenciales para asegurar la aceptación social y la viabilidad a largo plazo de una ZBE. La implicación de la ciudadanía, así como la definición de indicadores de seguimiento de la calidad del aire y del cambio modal, facilitarán la evaluación transparente de los avances.

Con todo el análisis realizado en el presente trabajo, podemos afirmar que el proyecto actual del Ayuntamiento de Santander presenta algunas debilidades. En primer lugar, está situado en el ensanche de la ciudad, la cual no es la zona con una IMD más alta, ni con los valores más elevados de contaminación del aire. En segundo lugar, se trata de una zona de extensión reducida (0,2 km²), lo cual supone menos de un 1% de la superficie total del término municipal. Por último, tampoco se encuentra en la zona con mayor densidad de población. Según el análisis realizado, las mayores densidades poblacionales se dan en las zonas Castilla-Hermida y San Fernando-Vargas, todas ellas enclavadas en la fase 0 de esta propuesta de ZBE. Además, es importante recordar que el Ayuntamiento de Santander lleva un retraso de casi 3 años respecto a los plazos marcados por la Ley 7/2021.

La estrategia y zona propuesta puede contribuir a mejorar la calidad del aire y la salud urbana, ofreciendo sinergias positivas con los objetivos de descarbonización y de una movilidad más sostenible. El diseño de la ZBE en Santander puede funcionar como modelo replicable en otras ciudades medias de la región cantábrica, reforzando un enfoque que priorice la sostenibilidad y el bienestar colectivo.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Niveles de NO ₂ medidos en la estación de Plaza del Carmen dentro de Madrid Central (2018-2019).	14
Figura 3.2. Reducción de NO ₂ en Madrid Central (2018-2019). Efecto sancionador. ...	15
Figura 3.3. Disminución de NO ₂ en la ZBE de Barcelona (2020).	16
Figura 4.1. Densidad de población en las secciones censales del municipio de Santander.	19
Figura 4.2. Intensidad Media Diaria en distintas espiras del municipio de Santander. ..	20
Figura 4.3. Distribución de las actividades comerciales en el municipio de Santander. ..	22
Figura 4.4. Recorridos de líneas TUS y paradas en el entorno de la ZBE.	23
Figura 5.1. Mapa de los sensores-estaciones de calidad del aire gestionadas por el Ayuntamiento de Santander y por el CIMA.	25
Figura 5.2. Datos generales actuales y propuestos del Plan de barrios para Tetuán-Gamazo y Estaciones-Catedral.	26
Figura 6.1. Perímetro de la ZBE propuesto por el Ayuntamiento de Santander.	32
Figura 6.2. Mapa de la propuesta de ZBE en tres fases para Santander.	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Límites legales máximos en España y límites recomendados por la OMS para distintos contaminantes.	11
Tabla 4.1. IMD de los principales ejes de la ciudad de Santander.	21
Tabla 6.1. Criterios recopilados para el diseño de una ZBE.	35
Tabla 6.2. Propuesta de regulación escalonada de acceso y sanciones en la ZBE de Santander.	39

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (2022). *Informe sobre el estado del clima de España 2021*. Madrid: Disponible en: https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Informes_estado_clima/IECLI_2021_baja_res.pdf (Acceso: 14 mayo 2025).

Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) (2022). *El número de muertes prematuras debido a la contaminación del aire sigue siendo demasiado alto en Europa*. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/highlights/el-numero-de-muertes-prematuras> (Acceso: 10 febrero 2025).

Área Metropolitana de Barcelona (AMB) (s. f.). *FAQS – Zonas de bajas emisiones (ZBE)*. Disponible en: <http://amb.cat/es/web/mobilitat/mobilitat-sostenible/zbe/zones-baixes-emissions/faqs> (Acceso: 5 agosto 2025).

Arteche García, J.L., Sanz Moral, M.P. y Ortiz Berenguer, F.J. (2004). Caracterización de la brisa cantábrica. En: García Codrón, J.C., Diego Liaño, C., Fdez. de Arróyabe Hernáez, P., Garmendia Pedraja, C. y Rasilla Álvarez, D. (eds.) *El clima, entre el mar y la montaña*. Santander: Asociación Española de Climatología (Serie A, nº 4), pp. 195–204. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/8975> (Acceso: 5 agosto 2025).

Atmosphere Copernicus (2024). Ozone pollution, the air quality hazard of the summer, *Atmosphere Copernicus*, 30 Julio. Disponible en: <https://atmosphere.copernicus.eu/ozone-pollution-air-quality-hazard-summer> (Acceso: 16 mayo 2025).

Autoridad Portuaria de Santander (APS) (2023). *Declaración medioambiental 2023*. Santander: APS. Disponible en: https://www.puertosantander.es/sites/default/files/inline-files/DECLARACIÓN_MEDIOAMBIENTAL_APS_2023.pdf (Acceso: 24 febrero 2025).

Ayuntamiento de Barcelona (2022). La ZBE reduce en un 11 % los niveles de dióxido de nitrógeno. *Info Barcelona*. Disponible en: <https://www.barcelona.cat/infobarcelona/es/tema/zona-de-bajas-emisiones/la-zbe->

[reduce-en-un-11-los-niveles-de-dioxido-de-nitrogeno_1154039.html](https://www.madrid.es/madrid-360-logra-una-reduccion-historica-de-los-registros-de-dioxido-de-nitrogeno/) (Acceso: 15 marzo 2025).

Ayuntamiento de Madrid (2023). *Madrid 360 logra una reducción histórica de los registros de dióxido de nitrógeno*. Disponible en: <https://www.madrid360.es/madrid-360-logra-una-reduccion-historica-de-los-registros-de-dioxido-de-nitrogeno/> (Acceso : 30 agosto 2025).

Ayuntamiento de Madrid (2024). *Otro mes histórico para la calidad del aire en Madrid: noviembre registra los niveles de dióxido de nitrógeno más bajos de toda la serie*. Disponible en: <https://www.madrid.es/portal/site/munimadrid/menuitem.0c57021e0d1f6162c345c34571f1a5a0/?vgnextfmt=default&vgnextoid=37a6284b7a9b3910VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnextchannel=a12149fa40ec9410VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnextlocale=es> (Acceso: 16 febrero 2025).

Ayuntamiento de Málaga (s. f.). *Zona de Bajas Emisiones*. Disponible en: <https://movilidad.malaga.eu/es/servicios/zona-bajas-emisiones/> (Acceso: 5 agosto 2025).

Ayuntamiento de Santander (2014). *Ordenanza Municipal para el Control Ambiental de Instalaciones y Actividades*. Boletín Oficial de Cantabria, 135 (15 julio). Disponible en: https://www.santander.es/sites/default/files/ordenanza_control_ambiental.pdf (Acceso: 3 junio 2025).

Ayuntamiento de Santander (2022). *Adjudicados los sensores para la gestión inteligente de la calidad del aire, ruido y aparcamiento*. Santander: Ayuntamiento de Santander. <https://www.santander.es/noticia/adjudicados-sensores-gestion-inteligente-calidad-del-aire-ruido-aparcamiento> (Acceso: 30 abril 2025).

Ayuntamiento de Santander (2024a). *Anuncio de consulta previa a la modificación parcial de la Ordenanza Municipal para el Control Ambiental de Instalaciones y Actividades*. 28 noviembre. Disponible en: <https://www.santander.es/content/anuncio-consulta-previa-modificacion-parcial-ordenanza-municipal-control-ambiental> (Acceso: 18 mayo 2025).

Ayuntamiento de Santander (2024b). *Santander adjudica a Estacionamientos y Servicios la plataforma de gestión de la ZBE*. 25 marzo. Disponible en:

<https://www.santander.es/content/santander-adjudica-estacionamientos-servicios-plataforma-gestion-zbe> (Acceso: 17 mayo 2025).

Ayuntamiento de Santander (2025). *Adjudicado el contrato para el suministro de cámaras tecnológicas destinadas al Centro de Control de Tráfico*. Santander: Ayuntamiento de Santander. Disponible en: <https://www.santander.es/content/adjudicado-contrato-suministro-camaras-tecnologicas-destinadas-centro-control-trafico> (Acceso: 1 agosto 2025).

Banco Mundial (2016). *La contaminación atmosférica le cuesta USD 225 mil millones a la economía mundial*. Comunicado de prensa, 8 septiembre. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2016/09/08/air-pollution-deaths-cost-global-economy-225-billion> (Acceso: 12 febrero 2025).

Beshir, H., & Fichera, E. (2025). “And Breathe Normally”: Impacts of low emission zones on sick leave and mental well-being. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 234, 106994. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2025.106994>. (Acceso: 1 abril 2025).

Boldo, E. (2016). *La contaminación del aire*. Madrid: Los Libros de la Catarata & Instituto de Salud Carlos III.

Carlo, O. (2023). *Experimental assessment of the effects of obstacles on pollutant dispersion in urban canyons*. Aim Group International. Disponible en: https://web.aimgroupinternational.com/2023/icwe/papers/ICWE2023_AbstractSub_mission-165_2023-01-12%2010_39_42.pdf (Acceso: 11 febrero 2025).

Centro de Investigación del Medio Ambiente (CIMA) (2023). *Evaluación de la calidad del aire en Cantabria. Informe anual 2023*. Santander: Gobierno de Cantabria. Disponible en: https://aire.cantabria.es/documentos/Informe_Evaluacion_Cantabria_2023_CIMA.pdf (Acceso: 16 mayo 2025).

Comunidad de Madrid (2024). *Inventario de emisiones a la atmósfera de la comunidad de Madrid, periodo 1990-2022, edición 2024*. Disponible en: https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/cma-ma-resumen_icm_ca_ed90-22_web_v3.pdf (Acceso: 23 julio 2025)

Consejo de la Unión Europea (2024). *Air quality: Council and Parliament strike deal to strengthen standards in the EU*. 20 de febrero. Disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/02/20/air-quality-council-and-parliament-strike-deal-to-strengthen-standards-in-the-eu/> (Acceso: 25 mayo 2025).

Decreto 19/2010, de 18 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 17/2006, de 11 de diciembre, de control ambiental integrado. Boletín Oficial de Cantabria, núm. 62, de 31 de marzo de 2010. Entrada en vigor: 1 de abril de 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.territoriodecantabria.es/-/decreto-19-2010-de-18-de-marzo-por-el-que-se-aprueba-el-reglamento-de-la-ley-17-2006-de-11-de-diciembre-de-control-ambiental-integrado> (Acceso: 12 mayo 2025)

Decreto 50/2009, de 18 de junio, por el que se regula el control de la contaminación atmosférica industrial en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Boletín Oficial de Cantabria, núm. 121, de 25 de junio de 2009. Disponible en: <https://boc.cantabria.es/boces/verAnuncioAction.do?idAnuBlob=154079> (Acceso: 10 mayo 2025).

Directiva 96/62/CE, de 27 de septiembre de 1996, relativa a la evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 296, de 21 de noviembre de 1996, pp. 55–63. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1996-81917> (Acceso: 15 abril 2025).

Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. Diario Oficial de la Unión Europea, L 23, de 26 de enero de 2005, pp. 3–16. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32004L0107> (Acceso: 11 de abril de 2025).

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Diario Oficial de la Unión Europea, L 152, de 11 de junio de 2008, pp. 1–44. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32008L0050> (Acceso: 28 de abril de 2025).

Directiva 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de diciembre de 2016, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, y por la que se modifican la Directiva 2003/35/CE y se deroga la Directiva 2001/81/CE. Diario Oficial de la Unión Europea, L 344, de 17 de diciembre de 2016, pp. 1–31. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32016L2284> (Acceso: 11 de abril de 2025).

Ecologistas en Acción (2013). *30 kilómetros por hora por unas calles seguras y limpias.* Madrid: Ecologistas en Acción. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/25735/30-kilometros-por-hora-por-unas-calles-seguras-y-limpias/> (Acceso: 15 de julio de 2025).

Ecologistas en Acción (2022). *Guía para poner en marcha Zonas de Bajas Emisiones ambiciosas y eficaces.* Madrid: Ecologistas en Acción. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/189172/guia-para-poner-en-marcha-zonas-de-bajas-emisiones-ambiciosas-y-eficaces/> (Acceso: 18 junio 2025).

Ecologistas en Acción (2024). *La calidad del aire en el Estado español durante 2023.* Madrid: Ecologistas en Acción. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2024/06/calidad-aire-estado-espanol-2023-resumen.pdf> (Acceso: 16 mayo 2025).

El Faradio (2025). *APIA redactará el proyecto técnico de la Zona de Bajas Emisiones en Santander.* 5 mayo. Disponible en: <https://www.elfaradio.com/2025/05/05/apia-redactara-el-proyecto-tecnico-de-la-zona-de-bajas-emisiones-en-santander-tras-ser-subcontratada-por-el-ayuntamiento/> (Acceso: 8 julio 2025).

El País (2024). *El Defensor del Pueblo ve “injustificados” los retrasos en las zonas de bajas emisiones y pide instalarlas ya.* 5 diciembre. Disponible en: <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2024-12-05/el-defensor-del-pueblo-ve-injustificados-los-retrasos-en-las-zonas-de-bajas-emisiones-y-pide-instalarlas-ya.html> (Acceso: 20 abril 2025).

elDiario.es (2025). *Santander se arriesga a devolver 342.000 euros en ayudas si no pone en marcha la Zona de Bajas Emisiones antes de 2026.* 14 mayo. Disponible en: https://www.eldiario.es/cantabria/santander-arriesga-devolver-342-000-euros-ayudas-si-no-pone-marcha-zona-bajas-emisiones-2026_1_12294044.html

- Gobierno de Cantabria (2020). *Estudio de optimización y verificación de la red de control y vigilancia de la calidad del aire en Cantabria. Cumplimiento de los criterios de ubicación de las estaciones*. Santander: Gobierno de Cantabria. Disponible en: https://aire.cantabria.es/documentos/Informe_Ubicacion_Estaciones_Cantabria_def.pdf (Acceso: 16 mayo 2025).
- Gobierno de Cantabria (2025). *Red de vigilancia. Aire Cantabria*. Disponible en: <https://aire.cantabria.es/vigilancia-calidad-aire.php> (Acceso: 22 mayo 2025).
- Híbrido y eléctrico (2025). *605.000.000 metros cuadrados de Zonas de Bajas Emisiones: una ciudad española se ha tomado muy en serio la contaminación*. 15 de julio. Disponible en: https://www.hibridosyelectricos.com/coches/605000000-metros-cuadrados-zbe-hay-ciudad-espanola-se-ha-tomado-muy-en-serio-zonas-bajas-emisiones_81055_102.html (Acceso: 23 de julio de 2025).
- Instituto de Salud Carlos III (2023). *Las medidas de control de la calidad del aire reducen la mortalidad prematura*. Madrid: ISCIII. Disponible en: <https://www.isciii.es/w/las-medidas-de-control-de-la-calidad-del-aire-reducen-la-mortalidad-prematura-1> (Acceso: 8 febrero 2025).
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2024). *Censo Anual de Población*. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176992&menu=ultiDatos&idp=1254735572981 (Acceso: 10 julio 2025).
- Keller, C.A. *et al.* (2021). Global impact of COVID-19 restrictions on the surface concentrations of nitrogen dioxide and ozone. *Atmospheric Chemistry and Physics*. pp. 3555-3592. doi: 10.5194/acp-21-3555-2021. Disponible en: <https://acp.copernicus.org/articles/21/3555/2021/> (Acceso: 28 mayo 2025).
- Ley 17/2006, de 11 de diciembre, de control ambiental integrado*. Boletín Oficial de Cantabria, núm. 243, de 21 de diciembre de 2006; Boletín Oficial del Estado, núm. 15, de 17 de enero de 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es-cb/l/2006/12/11/17/con> (Acceso: 12 de abril de 2025).
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera*. Boletín Oficial del Estado, núm. 275, de 16 de noviembre de 2007, pp. 47467–47479.

Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/11/15/34/con> (Acceso: 15 de abril de 2025).

Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética. Boletín Oficial del Estado, núm. 121, de 21 de mayo de 2021. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447 (Acceso: 12 de abril de 2025).

Milena, L. (2021). *Análisis comparativo entre la calidad del aire en tiempos de Pre-pandemia y pandemia en la ciudad de Bogotá*. Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Ambiental. Bogotá: Universidad de los Andes. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6d302dca-60cb-4204-a0ae-9a34149ba3ae/content> (Acceso: 5 abril 2025).

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *Directrices para la creación de Zonas de Bajas Emisiones*. Madrid: MITECO. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/directricesparalacreaciondezonasdebajasemisiones_tcm30-533017.pdf (Acceso: 10 abril 2025).

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (s.f.a). *Zonas de Bajas emisiones en España*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/movilidad/zonas_de_bajas_emisiones_en_espana.html (Acceso: 10 abril 2025).

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (s.f.b). *Índice de Calidad del Aire*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/visualizacion-datos-calidad-del-aire/ica.html> (Acceso: 10 abril 2025).

Noguerol, A. (2025). Las Zonas de Bajas Emisiones ya suponen el equivalente a 100.000 campos de fútbol en España. *Diario ABC*, 7 julio. Disponible en: <https://www.abc.es/motor/motoreco/zonas-bajas-emisiones-suponen-equivalente-100000-campos-20250707100832-nt.html> (Acceso: 5 agosto 2025).

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: materia particulada (PM_{2.5} y PM₁₀), ozono, dióxido de nitrógeno,*

dióxido de azufre y monóxido de carbono. Resumen ejecutivo. Ginebra: OMS. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240034433> (Acceso: 26 febrero 2025).

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2024). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud*. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (Acceso: 20 mayo 2025).

Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. Boletín Oficial del Estado, núm. 25, de 29 de enero de 2011, pp. 10954–10970. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645> (Acceso: 23 de febrero de 2025).

Real Decreto 1052/2022, de 27 de diciembre, por el que se regulan las zonas de bajas emisiones. Boletín Oficial del Estado, núm. 311, de 28 de diciembre de 2022. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/12/27/1052/con> (Acceso: 5 de agosto de 2025).

Santander, Hábitat Futuro (2022). *El urbanismo regenerativo como modelo de ciudad. Plan estratégico*. Santander: Ayuntamiento de Santander. Disponible en: https://santanderhabitatfuturo.com/wp-content/uploads/2022/11/2_E1-Vital-e-Inclusiva_A3.pdf (Acceso: 2 abril 2025).

Santander, Hábitat Futuro (2023a). *El urbanismo regenerativo como modelo de ciudad. Plan estratégico. Estrategia 3. Santander, vertebrada y conectada*. Santander: Ayuntamiento de Santander. Disponible en: https://santanderhabitatfuturo.com/wp-content/uploads/2023/03/3_E2-Maqueta-Vertebrada-y-conectada.pdf (Acceso: 4 abril 2025).

Santander, Hábitat Futuro (2023b). *El urbanismo regenerativo como modelo de ciudad. Plan estratégico. Estrategia 4. Santander Sostenible y Resiliente*. Santander: Ayuntamiento de Santander. Disponible en: https://santanderhabitatfuturo.com/wp-content/uploads/2023/03/5_E4-Sostenible-y-resiliente.pdf (Acceso: 5 abril 2025).

Santander, Hábitat Futuro (2023c). *El urbanismo regenerativo como modelo de ciudad. Plan estratégico. Plan de Barrios*. Santander: Ayuntamiento de Santander. Disponible en: https://santanderhabitatfuturo.com/wp-content/uploads/2023/03/7_Plan-de-barrios_.pdf (Acceso: 8 abril 2025).

Sociedad Española de Neurología (2020). *¿Cómo afecta la contaminación a nuestra salud cerebral? Comunicado de prensa*. Madrid: SEN. Disponible en: <https://www.sen.es/saladeprensa/pdf/Link293.pdf> (Acceso: 3 abril 2025).

Tarriño-Ortiz, J., Gómez, J., Soria-Lara, J.A. y Vassallo, J.M. (2022). Analyzing the impact of Low Emission Zones on modal shift. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103562. Disponible en: <https://oa.upm.es/78015> (Acceso: 5 agosto 2025). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103562>.

Verdes Equo Cantabria (2025). Zonas de bajas emisiones. Zonas de bien estar. Disponible en: <https://cantabria.verdesequo.es/wp-content/uploads/2025/05/VERDES-EQUO-CANTABRIA-ZBE-DOCUMENTO-FINAL-20250528.pdf> (Acceso: 24 de julio de 2025).

WSP (2025). Zona de bajas emisiones de la ciudad de Santander. Informe – Proyecto.