

## Resumen

El crecimiento de las ciudades orientadas al automóvil está planteando nuevos problemas de salud urbana derivados del aumento de la contaminación asociada a la movilidad. Esto exige respuestas rápidas para crear entornos sostenibles desde el punto de vista medioambiental. Las zonas de bajas emisiones son una opción sencilla y económica, pero algunas han sido cuestionadas en cuanto a su eficacia. En este artículo analizamos como caso de estudio Madrid Central, revisando su efectividad en la reducción de contaminantes y analizando su papel como estandarte de la lucha ciudadana por la mejora de la salud urbana.

*Palabras clave:* Madrid Central, zona de bajas emisiones, movilidad, salud urbana.

## Abstract

The growth of car-oriented cities is posing new urban health problems arising from increased mobility-related pollution. This requires quick responses to create environmentally sustainable urban areas. Low emission zones are a simple and cost-effective option, but some have been questioned as to their effectiveness. This article analyzes the effectiveness of Madrid Central as a case study in terms of reducing pollutants and reviewing its role as a standard-bearer in the citizens' struggle to improve urban health.

*Keywords:* Madrid Central, low emissions zone, mobility, urban health.

*JEL classification:* L92, Q53, R59.

# ¿SON EFECTIVAS LAS ZONAS DE BAJAS EMISIONES? EL CASO DEL CENTRO DE MADRID

Irene LEBRUSÁN

*Grupo de Investigación Sociedad, Medio Ambiente y Territorio (UCM),  
Instituto de Estudios de Género (UC3M) y  
Cátedra «Agenda Urbana 2030 para el Desarrollo» (UVa)*

Jamal TOUTOUH

*Universidad de Málaga y Massachusetts Institute of Technology*

## I. INTRODUCCIÓN

La concentración de población en las ciudades y el nuevo modelo de urbanización, más disperso, han provocado grandes cambios en la movilidad de personas y mercancías, incrementando el tráfico en las áreas urbanas. Por otra parte, el diseño urbano de la mayoría de las ciudades fomenta el uso del vehículo privado, en detrimento de otros usos y usuarios. Esta configuración espacial contribuye a la escasez de espacios públicos seguros, disminuyendo su disponibilidad para uso peatonal y desalentando el ejercicio físico (OMS, 2006): sumando la calzada y la zona de aparcamiento, el 60 por 100 de la superficie de la ciudad se destina a los vehículos (IDAE, 2019). La priorización del vehículo olvida la importancia que el contexto físico y espacial tiene sobre nuestra salud a lo largo de toda la vida (Phillipson, 2011; Wahl y Weisman, 2003), impidiendo que la calle pueda ser un espacio de juego (Tonucci, 2005; ONU, 1989) y poniendo en riesgo la integración social de las personas de edad avanzada (Lebrusán y Toutouh, 2019; 2020; 2021). Todo esto provoca una disminución del contacto intergeneracional y sus beneficios, limitando la creatividad de la

sociedad (Hagestad y Uhlenberg, 2006).

No obstante, el mayor problema asociado a estas *car-friendly cities* es el aumento del tráfico, que es la mayor fuente de emisiones contaminantes en el entorno urbano (Steele, 2001; Soni y Soni, 2016). Los contaminantes producidos por los motores de explosión y combustión de los vehículos afectan gravemente a la salud de la población y a su calidad de vida, reducen la esperanza de vida y aumentan la mortalidad (OMS, 2018; EEA, 2020) suponiendo, además, cuantiosos costes económicos. En España, por ejemplo, el coste anual asociado a la salud equivaldría entre un 1,7 y un 4,7 por 100 del producto interior bruto (Ecologistas en Acción, 2020).

La preocupación por este «asesino silencioso» (OMS, 2021b) empujó a la Comisión Europea (CE) a adoptar en 2013 el *Clean Air Policy Package* (basado en las Directivas 2008/50/EC y 2004/107/EC) donde se exige a los países miembros que reduzcan sus emisiones contaminantes bajo riesgo de cuantiosas multas. Así, los países de la Unión Europea (UE) han comenzado a implementar diferentes medidas orientadas a un cambio en la

concepción del diseño urbano y en la propia movilidad, siendo la mera reducción del tráfico en zonas urbanas la forma más económica y eficiente para abordar estas problemáticas.

Mientras que la peatonalización absoluta es cara y difícil de implementar, la creación de zonas de bajas emisiones (ZBE) son, a menudo, la medida más efectiva para reducir los tres principales contaminantes atmosféricos que preocupan en Europa: partículas finas ( $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y ozono ( $O_3$ ). En 2019, año previo a la pandemia, Europa contaba con cerca de 300 ZBE en unos doce países (*Umweltzonen* en Alemania; *Milieuzones* en los Países Bajos; la *Zone à Circulation Restreinte* en Francia; la *Lage-emissiezone* en Bélgica; varias *Clean Air Zones* en Inglaterra; la *Miljøzone* de Dinamarca; *Miljözon* en Suecia; la noruega *Lavutslippssone*, *Alacsony Kibocsátási Övezet* en Hungría; o la *ZTL ambiente* en Italia). En España, y si bien la reciente Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética obliga a todo municipio de más de 50.000 habitantes a tener espacios de bajas emisiones antes de 2023, solo dos municipios españoles tienen experiencia (aunque breve) en la aplicación de medidas para la reducción del tráfico: Barcelona y Madrid.

En este artículo se analiza la experiencia de Madrid, epicentro de diferentes polémicas y escenario entre 2018 y 2021 del diseño e implantación de tres zonas de bajas emisiones en el centro de la ciudad (Madrid Central [MC], más tarde Madrid 360, denominado en la actualidad distrito centro o zona de bajas

emisiones de especial protección –ZBEDEP distrito centro–), todas ellas con la intención de mejorar la calidad del aire, pero con distinta normativa y premisas.

Para analizar los resultados atmosféricos de esta ZBE y, por tanto, la efectividad de la medida, se considera un marco temporal de siete años (84 meses, desde diciembre de 2014 hasta noviembre de 2021) distinguiendo dos períodos: i) pre-MC, que serían los cuatro años anteriores a la creación y aplicación de MC, es decir, desde diciembre de 2013 hasta noviembre de 2018; y ii) pos-MC, que analiza el período de aplicación (aunque con matices) de la medida sobre movilidad, es decir, desde diciembre de 2018 a noviembre de 2021). Los datos comparados proceden del Portal de Datos Abiertos del Ayuntamiento de Madrid, que proporciona la concentración media horaria de varios contaminantes atmosféricos recogida través de diferentes sensores instalados en la ciudad. En este estudio nos centramos en cuatro: el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y el ozono ( $O_3$ ).

La estructura de este artículo recoge, en primer lugar, la descripción de los efectos del aire contaminado en la salud de las personas, el ecosistema natural y en la economía y las causas principales de su aumento en España. La sección tercera revisa los compromisos y normativas al respecto en los planos internacional y nacional, proponiendo las zonas de bajas emisiones como una forma de responder a dichas normativas. La sección cuarta analiza la conformación de MC y revisa su efectividad, tanto en lo que respecta a la

reducción en diversas emisiones contaminantes como su significación a nivel social. Por último, a modo de conclusión, se exponen una serie de reflexiones finales y se plantean una serie de medidas potenciales que podrían ayudar a reducir las emisiones y a mejorar las pautas de movilidad en las ciudades.

## II. EL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: POR QUÉ ES IMPORTANTE SU REDUCCIÓN

El aire contaminado, al que está expuesto el 99 por 100 de la población (OMS, 2021b), causa cada año 4,2 millones de muertes en el mundo y ha demostrado ser carcinogénico incluso aislado de otras variables (Raaschou-Nielsen *et al.*, 2013). La exposición crónica a partículas finas es el sexto factor de riesgo para el total de muertes en el mundo (HEI, 2018). En la UE causó 307.000 muertes prematuras en 2019; otras 40.400 muertes se atribuyeron a la exposición crónica al dióxido de nitrógeno y 16.800 a la exposición aguda al ozono (EEA, 2021). También causa enfermedades respiratorias crónicas, reduce la capacidad pulmonar, agrava el asma y está asociado con enfermedades cardiovasculares y pulmonares crónicas. Provoca, además, infertilidad y diabetes tipo 2 en adultos, osteoporosis, conjuntivitis, influye sobre la obesidad, la inflamación sistémica, el aceleramiento del envejecimiento celular, demencia e, incluso, el alzhéimer (Bakalar, 2019). Afecta especialmente a embarazadas y personas mayores, así como a los niños, limitando y retrasando su desarrollo psicomotor y su capacidad intelectual (Schraufnagel, *et al.*,

2019). Su papel en el aumento de la mortalidad causada por la COVID-19 tampoco es menor (véase Frontera *et al.*, 2020).

Además de sobre nuestra salud, impacta negativamente sobre los ecosistemas naturales, provocando la pérdida de biodiversidad y acelerando el cambio climático (EEA, 2019; Lanzi, 2016). Tampoco son menores los daños profundos que causa en el entorno construido y, por tanto, en el patrimonio cultural (EEA, 2019).

Otro factor para tener en cuenta es su coste económico. En el caso de España, en 2019 en torno a 30.000 personas murieron a consecuencia del aire contaminado y el coste asociado a la salud provocado por la polución aérea supone cada año entre un 1,7 por 100 y un 4,7 por 100 del producto interior bruto (Ecologistas en Acción, 2020). Este coste aumenta con el tamaño de la ciudad, lo que hace que, en ciudades como Madrid, el coste puede ascender hasta los 1.069 euros per cápita (De Bruyn y De Vries, 2020).

### 1. Sus causas en las ciudades españolas: mucho tráfico y coches viejos

La contaminación atmosférica proviene de distintas fuentes, pero en las ciudades su mayor causante es el número de vehículos privados en circulación, que en España llegaba a los 29,7 millones en 2020. Es decir, si en 2010 teníamos 431 turismos por cada 1.000 habitantes, en 2019 la proporción aumentó hasta los 532 (ANFAC, 2021). Es importante señalar que un aumento del 1 por 100 de ve-

hículos en circulación aumenta los costes en salud para las ciudades, por ejemplo, en el caso de Madrid en casi un 0,5 por 100 (De Bruyn y De Vries, 2020). Este parque automovilístico tiene una edad superior a la media europea (13,1 años de antigüedad frente a los 10,8 años de media europea), lo que lo convierte en más contaminante (ANFAC, 2021). No hay que olvidar que la elevada presencia de vehículos diésel es otro factor «de riesgo»: este combustible llega a suponer el 83 por 100 del coste social procedente del total del tráfico rodado (De Bruyn y De Vries, 2020). En nuestro país, el 35,2 por 100 del parque automovilístico no dispone de etiqueta ambiental y un 32,4 por 100 tiene etiqueta B, siendo causantes del 92,4 por 100 de las emisiones contaminantes de óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y del 93,6 por 100 de las emisiones de partículas. Es cierto que el número de vehículos catalogados por la Dirección General de Tráfico (DGT) como Eco y Cero han aumentado durante 2020 (un 36 por 100 los Eco, superando el medio millón de unidades y un 81 por 100 los catalogados como Cero, alcanzando las 94.412 unidades) estos representan solo el 2,2 por 100 del parque automovilístico en España.

### III. LA IMPORTANCIA DE COMPROMISOS INTERNACIONALES Y NACIONALES PARA ABORDAR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Para luchar contra este gran problema de la contaminación, las sociedades deben partir de una premisa clara: no es posible mantener los modelos de movi-

lidad y transporte actuales. Ello requiere de un fuerte cambio en el marco normativo que introduzca y oriente cambios modales, así como un elevado grado de compromiso desde las escalas nacional, regional y local. Repasamos, a continuación, algunos de los avances más significativos realizados desde los organismos intergubernamentales en lo referente al cambio en la movilidad para reducir las emisiones de gases contaminantes.

### 1. La preocupación internacional en la reducción de contaminantes atmosféricos

Como ya se ha comentado, en 2013, la CE adoptó en 2013 el *Clean Air Policy Package* que obligaba a los países miembros a reducir las emisiones, con atención específica a los procedentes de los automóviles. Su cumplimiento conseguiría no solo evitar 58.000 muertes prematuras en la UE, sino también salvar 123.000 km<sup>2</sup> de ecosistemas de la contaminación debida al nitrógeno, de los cuales 56.000 km<sup>2</sup> corresponden a áreas especialmente protegidas (Natura, 2000) y conseguiría que 19.000 km<sup>2</sup> de ecosistemas forestales no tuvieran acidificación.

La preocupación por la reducción de emisiones y la necesidad de repensar nuestra movilidad aparece también en otros acuerdos comunitarios, como el Pacto Verde Europeo, que tiene por objeto situar a Europa en la senda de la transformación hacia una sociedad climáticamente neutra, equitativa y próspera, con una economía moderna y competitiva que utilice de manera eficiente los recursos. En

ella se alude a la necesidad de reducir las emisiones del tráfico y de implementar un transporte público sano para el medio ambiente al objeto de lograr la neutralidad climática en 2050.

También la Organización de las Naciones Unidas (ONU) expresó su preocupación por las emisiones del transporte y la calidad del aire en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), conminando cambios en la forma de movilidad urbana para lograr la neutralidad climática en 2030.

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda, además de cambiar a modos limpios de energía, dar prioridad al tránsito urbano rápido, a las redes de peatones y ciclistas en las ciudades, así como a los viajes interurbanos de mercancías y pasajeros por ferrocarril; cambiar a vehículos diésel pesados más limpios y a vehículos y combustibles de bajas emisiones, incluidos los carburantes con contenido reducido de azufre (OMS, 2021b). Hace solo unos meses la OMS redujo el umbral máximo de emisiones recomendado, que no habían sido actualizados desde 2005. En su nueva directriz, la exposición máxima anual al NO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) baja de los 40 microgramos por metro cúbico hasta los 10 microgramos. Para las PM<sub>2,5</sub> (partículas inferiores a 2,5 micras de diámetro, que pueden penetrar la barrera pulmonar y pasar al torrente sanguíneo) se reducen de 10 microgramos por metro cúbico a 5, y el límite anual de las PM<sub>10</sub> (partículas «torácicas» menores de 10  $\mu\text{m}$  que pueden penetrar hasta las vías respiratorias bajas) disminuyen de 20 microgramos por metro cúbico a 15. Esta organización calcula que el cumplimiento de

estos nuevos umbrales supondría una reducción de, al menos, el 58 por 100 de las muertes prematuras frente al 21 por 100 que hubiesen proporcionado los criterios previos (OMS 2006; 2021).

Todas estas directrices internacionales, aunque con diferentes grados de vinculación por parte de los países, suponen un hito que expresa la voluntad internacional sobre la necesidad de un cambio en cómo se concibe la movilidad y el transporte de mercancías, entre otros aspectos.

## 2. El compromiso de España para reducir las emisiones

El compromiso, al menos teórico, de España contra la contaminación es notable: recientemente presentó en la UE la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050, que marca una reducción del 90 por 100 de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a 2050 con respecto a 1990. También la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética ha puesto la reducción del consumo de energía final (cuyo mayor peso porcentual recae sobre el transporte) y las emisiones de contaminantes atmosféricos en el centro de la acción política, entendiendo que la lucha contra el cambio climático es un vector clave de la economía, imprescindible además para construir el futuro y generar nuevas oportunidades socioeconómicas. Esta ley implica actuaciones sobre la movilidad urbana y metropolitana hacia una mayor participación de los modos más eficientes y el transporte público (en detrimento de la utilización del vehículo privado con baja ocupación), el fomento

del uso compartido y de modos no motorizados como caminar o la bicicleta. La reducción del uso del vehículo privado en entornos urbanos (en un 35 por 100 hasta 2030 y de los tráficos interurbanos del orden de un 1,5 por 100 anual) incluiría, además, el fomento del teletrabajo.

El Plan de Restauración, Transformación y Recuperación presentado recientemente por el Gobierno español a la CE incluye un plan de impacto para el transporte sostenible, seguro y conectado en entornos urbanos y metropolitanos para promover la descarbonización del transporte urbano, mejorando así la calidad del aire y la vida urbana. Sus medidas incluyen incentivos económicos para la transformación de las flotas de vehículos de pasajeros y mercancías por vehículos de emisión cero o de bajas emisiones.

En materia de medidas urbanas de tráfico, la modificación del Reglamento General de la Circulación del 11 noviembre 2020 puso en vigor límites de velocidad en vías urbanas y travesías y planteó los Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) y los Planes de Transporte al Trabajo (PTT). Los PMUS suponen la concesión directa de subvenciones a proyectos singulares de entidades locales que favorezcan el paso a una economía baja en carbono en el marco del programa operativo FEDER de crecimiento sostenible 2014-2020 (BOE, 2019). Los PTT, obligatorios para empresas con más de 250 empleados, consisten en una batería de medidas encaminadas a que las empresas fomenten, por ejemplo, la movilidad sostenible y compartida o el teletrabajo (IDAE, 2019).

Aunque sin carácter normativo, merece mención la Agenda Urbana Española, aprobada en febrero de 2019 y que pone de manifiesto la necesidad de lograr la sostenibilidad ambiental en las políticas de desarrollo urbano. Apuesta, asimismo, por la adopción de medidas encaminadas a favorecer una movilidad sostenible y eficiente, apostando por la intermodalidad, reduciendo los viajes en transporte privado y mejorando tanto los sistemas de transporte público como la calidad de los desplazamientos peatonales (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019).

### 3. De la normativa a la práctica ¿por qué necesitamos ZBE en nuestras ciudades?

No obstante, y a pesar de este notable compromiso sobre el papel, lo cierto es que nuestro país parte de una mala situación atmosférica: diferentes ciudades y áreas urbanas españolas (Barcelona, Madrid y Valencia, entre otras) superan tanto los umbrales que la OMS estableció en 2005 como las directrices exigidas por la UE, estas últimas de obligado cumplimiento.

De hecho, España ha infringido la mencionada normativa de forma reiterada desde 2010; la capital ha superado durante todo este tiempo el límite del valor horario ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) –que no se debe rebasar durante más de 18 horas al año en ninguna de las 24 estaciones de la red– y también el límite del valor anual (establecido en  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración media anual). Este incumplimiento reiterado provocó que, en 2015, Bruselas abriese expediente contra España, espe-

cíficamente centrándose en las emisiones y superación recurrente de los umbrales máximos de dióxido de nitrógeno en Madrid y en el área metropolitana de Barcelona. Lo cierto es que, con el reciente endurecimiento de los parámetros de la OMS, muchas más ciudades incumplirían estos nuevos máximos, que aún no son vinculantes.

Sin embargo, España consiguió paralizar la multa gracias al anuncio de la creación, tanto en Madrid como en Barcelona, de áreas de bajas emisiones que permitirían a ambas ciudades alcanzar los parámetros recomendados para 2020. Otros países, como Alemania, Francia, Italia, Rumanía, Hungría y Reino Unido sí fueron denunciados ante el Tribunal de Justicia de la Unión Europea por este motivo. A continuación, analizaremos la corta, pero «intensa» vida de MC.

### IV. ¿CRÓNICA DE UNA MUERTE ANUNCIADA O LA ZBE MÁS EXITOSA DE EUROPA? EL CASO DE MC

Esta sección se enfoca en analizar la eficacia relativa a la reducción de contaminantes peligrosos para la salud de las medidas llevadas a cabo en la definición de la ZBE en Madrid. Primero se refiere la situación marco que lleva a que Madrid plantee esta área de bajas emisiones, a fin de comprender que la importancia que tiene MC, incluso a nivel comunitario, no es menor. Seguidamente, se revisa la experiencia de Madrid central y la forma en que se convierte en un símbolo, más allá de su capacidad de cumplir o no con los objetivos que motivaron su creación. Por último, se analizan los resultados

reales que tuvo la implantación de esta área de bajas emisiones a fin de poder determinar qué efectos tuvo sobre la calidad del aire.

### 1. Del distrito centro a los tribunales: la ajetreada vida de MC

La elevada contaminación en la capital llevó al Ayuntamiento de Madrid a reducir en el centro de la ciudad el tráfico de tránsito (aquel que no tiene como origen ni como destino final esta área), replicando así otras experiencias europeas y dando continuidad a medidas previas que no habían resultado efectivas ni fáciles de comprender. Con la creación de MC las restricciones al tráfico dejarían de depender del nivel actual de contaminación (cuando ya es demasiado tarde) o de la previsión meteorológica, dejando atrás respuestas parciales y un tanto aleatorias (como la prohibición en días alternos de circular por determinadas áreas a coches con matrícula par o impar).

Madrid Central se constituye como una ZBE en una zona delimitada del centro de la capital que restringe el acceso a los vehículos que no cumplan una serie de distintivos ambientales, aunque permitiendo la circulación a residentes y a vehículos autorizados. La medida, que solo afecta a una parte de la ciudad y con numerosas salvedades, no es novedosa ni excesivamente estricta, pero resultó muy controvertida y llegó a convertirse en un símbolo político (Lebrusán y Toutouh, 2020), especialmente cuando la oposición comparó esta ZBE con el gueto de Varsovia y con el muro de Berlín (Ferrero y Vega, 2021). Encontró un fuerte rechazo entre algunos

grupos políticos y ciudadanos: se planteaba que MC limitaba el derecho a utilizar el vehículo privado y no resultaba efectiva, pues, en realidad, estaba desplazando la contaminación hacia otras zonas de la ciudad (causando el denominado efecto frontera).

Las protestas llegaron a los tribunales: el grupo Popular inició en 2018 un contencioso en el que defendía que el coste de la puesta en funcionamiento de esta zona de bajas emisiones, calculado en 11,7 millones de euros durante siete años, podía poner en riesgo la estabilidad financiera del Ayuntamiento de Madrid. Mientras, MC lograba detener la acción disciplinaria de la CE, si bien tras las elecciones municipales celebradas el 26 de mayo de 2019, el nuevo Gobierno cumplía su promesa electoral y aplicaba una moratoria en las multas desde el 1 de julio hasta el 30 de septiembre de 2019 bajo el art. 247 de la Ordenanza de Movilidad Sostenible. Pero la lucha jurídica por la reclamación del centro de la ciudad continuaba: esta reversión de la ZBE fue llevada ante los tribunales por asociaciones ecologistas, alargando así (ligemente) la vida de MC. Además, consiguió la mayor movilización hasta la fecha por una causa ambiental (10.000 personas según Delegación del Gobierno y más de 60.000, según los organizadores) que contó con el respaldo de más de 70 organizaciones y más de 200.000 firmas a favor de su mantenimiento (Planelles, 2019). Finalmente, el Tribunal Supremo (TSJM) dejaría sin efecto MC por defectos formales, a pesar de los recursos de casación presentados por Ecologistas en Acción: el TSJM anuló parcialmente el 26 de julio de 2020 la ordenanza municipal que regulaba MC tras el recurso interpuesto por el Círculo

de Empresarios de Ocio Nocturno y de Espectáculos de Madrid (CEONM) con base en defectos formales, ya que la regulación no incluyó el trámite de información pública (principios recogidos en el Título III de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público).

El aspecto positivo es que el nuevo Consistorio quedó obligado a aprobar una nueva ordenanza de Movilidad Sostenible para cumplir con la Ley de Cambio Climático (BOE número 121, de 21/05/2021) y evitar así la referida multa de la CE. No hay que olvidar que el catalizador de esta ZBE fue, más que una idea espontánea, resultado del requerimiento europeo dirigido a España por el incumplimiento de las obligaciones derivadas de la Directiva 2008/50/CE, de 21 de mayo de 2008. En respuesta a lo anterior, el nuevo Gobierno municipal crea la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360 (1) y MC pasa a llamarse zona de bajas emisiones de especial protección (ZBEDEP) distrito centro, entrando en vigor el 11 de diciembre de 2021 (BOAM, 2021).

¿Cuáles son las diferencias entre esta nueva ZBE y la anterior? Este ZBEDEP resulta menos restrictivo que la anterior ZBE, pues mantiene los criterios de acceso según distintivo ambiental, pero equipara a comerciantes y residentes a la hora de poder circular en la zona.

## 2. Análisis y valoración sobre la efectividad de MC

Más allá de las disquisiciones jurídicas y políticas, la pregunta relevante es si MC llegó a ser efectiva. ¿Pueden los consistorios reducir la polución en sus ciudades con medidas simples?

De Gregorio Hurtado (2019) señala que los efectos cualitativos de MC se percibieron desde el primer día, con una menor presencia del vehículo privado en el espacio público. Pero ¿disminuyó el tráfico o simplemente se desvió hacia otras zonas de la ciudad? ¿Estaba MC creando un efecto frontera?

Estudios previos demostraron que la aplicación de restricciones a los vehículos en el acceso a una calle o zona afecta a los patrones de movilidad de los habitantes en el conjunto de la ciudad (Soni y Soni, 2016) y, por tanto, repercute en la reducción de la contaminación de las distintas zonas de esa ciudad. Excepto en el caso del  $O_3$ , las diferencias en emisiones durante el período previo a MC y el corto período que estuvo activo MC, resultaron estadísticamente significativas (Lebrusán y Toutouh, 2019), resultado que se corroboró posteriormente con la aplicación de métodos de inteligencia artificial basados en aprendizaje profundo o *deep learning* (redes neuronales artificiales recurrentes) (Toutouh, Lebrusán y Nesmachnow, 2020). También se demostró que la concentración media de  $NO_2$  se reducía en otras zonas de Madrid más allá de esta ZBE (Lebrusán y Toutouh, 2020) e, incluso, que la medida fue capaz de reducir los niveles de ruido (Lebrusán y Toutouh, 2021). No obstante, siendo tan breve la vigencia de MC, y sabiendo además que las multas tardaron en ser efectivas, cabría pensar que los resultados estaban sesgados por otras cuestiones, como el cambio de temperatura asociado al cambio de estación del año o que la muestra temporal no es suficiente para compensar estos posibles efectos distorsionadores.

El análisis realizado en este artículo considera principalmente: i) la concentración contaminante durante ambos períodos pre-MC y pos-MC, que se mide y promedia por hora y día; ii) la variación media entre la concentración contaminante durante el pos-MC y el pre-MC, teniendo en cuenta los diferentes meses (M). Medido en porcentaje, un valor negativo indica reducción del contaminante (mejora en la calidad del aire) y; iii) la regresión se aplica para evaluar la tendencia general de la concentración de contaminación atmosférica con y sin la aplicación de las restricciones al tráfico rodado en MC.

Para cada uno de los contaminantes analizados se muestran dos gráficas: i) un diagrama de caja que presenta la concentración de los contaminantes atmosféricos para los períodos pre-MC y pos-MC, teniendo en cuenta las diferentes estaciones; y ii) un diagrama de barras en el que se incluye la concentración media mensual de cada contaminante. A su vez, se incluye una tabla con los descriptivos: i) la mediana (Med.); ii) el rango

CUADRO N.º 1

**CONCENTRACIÓN DE NO<sub>2</sub> MEDIDA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN**

	pre-MC			pos-MC			VARIACIÓN <sup>ab</sup>
	MED.	IQR	MÁX.	MED.	IQR	MÁX.	
Primavera	40,17	19,94	162	20,42	15,26	131	-96,70*
Verano	42,19	23,07	196	27,46	18,63	148	-53,63*
Otoño	56,52	24,68	188	38,86	21,29	123	-45,43*
Invierno	53,10	24,96	196	43,95	26,92	172	-20,82*

*Nota:* El asterisco indica que existe una diferencia significativa entre los períodos pre-MC y pos-MC.

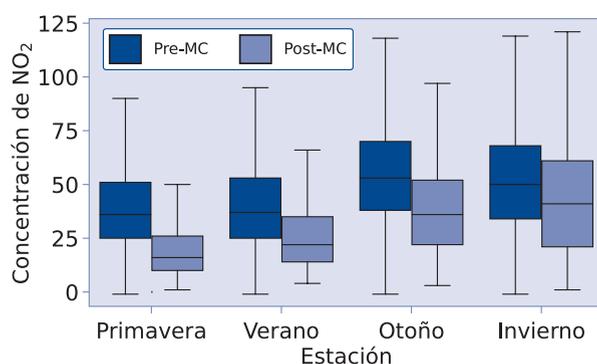
intercuartil (Iqr); iii) el máximo (Max.) de concentración alcanzado por estos contaminantes para cada período estudiado; y iv) la variación media en dicho contaminante (Variación). El asterisco en las tablas indica que existe una diferencia estadísticamente significativa en la variación en dicho contaminante para los períodos analizados según la prueba U de Mann-Whitney (es decir, valor  $p < 0,01$ ).

#### a) Concentración de NO<sub>2</sub>

Centrándonos en el NO<sub>2</sub>, que es el contaminante que provocó

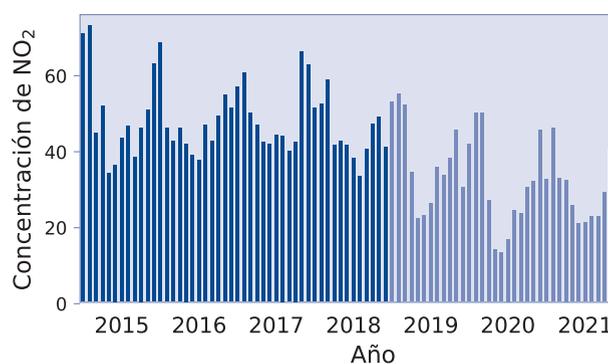
la apertura del expediente de la UE contra España y cuyo exceso es un problema de salud pública, podemos observar que su concentración se reduce significativamente en todas las estaciones. El cuadro n.º 1 muestra que su disminución es menor en invierno, debido a que el NO<sub>2</sub> permanece en el aire durante más tiempo en los meses fríos, pero sobre todo a la aportación a la contaminación que tendrían las centrales eléctricas de combustión para la calefacción doméstica (Chen, Yan y Zhao, 2015). A su vez, se puede observar cómo la variación (reducción del con-

GRÁFICO 1  
CONCENTRACIÓN DE NO<sub>2</sub> MEDIDA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN



#### a) Comparativa por estaciones

*Fuente:* Elaboración propia.



#### b) Concentración media mensual

taminante) es estadísticamente significativa para todas las estaciones.

El gráfico 1a confirma que las estaciones más cálidas tienen una mejor calidad del aire, mientras que el gráfico 1b muestra que la concentración de  $\text{NO}_2$  supera, durante varios meses, el máximo permitido por la UE para ambos periodos (pre-MC y pos-MC) si bien durante pos-MC lo hace durante menos meses, indi-

cando que la población tuvo un aire más saludable durante un porcentaje mayor de tiempo.

Una vez visto que existe una reducción de  $\text{NO}_2$ , aplicamos el análisis de regresión para evaluar la tendencia general de este contaminante. Los gráficos 2 y 3 ilustran dos análisis diferentes:

- En primer lugar, tenemos en cuenta todos los valores de concentración para ver la ten-

dencia del contaminante en general.

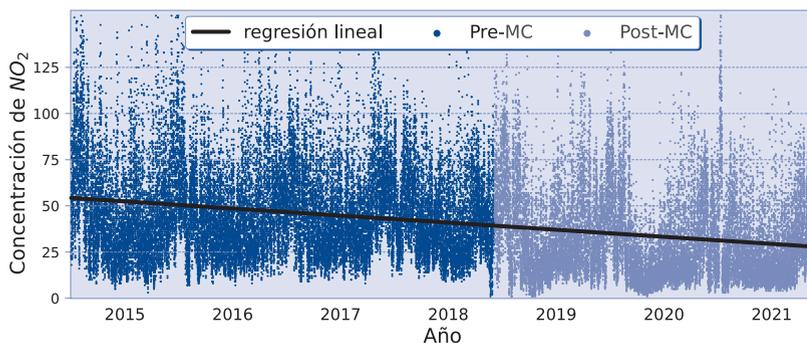
- En segundo lugar, se promedian los valores censados mensualmente y se evalúan las tendencias de cada uno de los periodos por separado. Así, se puede analizar el posible cambio de tendencia debido a las nuevas políticas de movilidad.

En el gráfico 2, la regresión lineal (línea negra) muestra una tendencia decreciente para  $\text{NO}_2$ . En el gráfico 3 la línea azul discontinua, que representa la regresión lineal de la concentración de  $\text{NO}_2$  antes de la aplicación de MC, tiene una pendiente negativa. No obstante, esta es inferior a la tendencia general una vez se aplican las medidas de MC (línea azul claro). Así, pues, el comportamiento de la concentración de  $\text{NO}_2$  en el aire bajo la aplicación de medidas de MC señala que la restricción del tráfico tiene un efecto positivo en la calidad del aire.

### b) Concentración de $\text{O}_3$

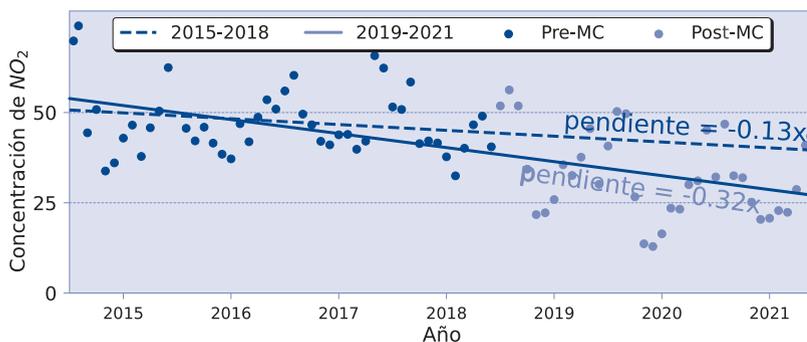
El análisis de la concentración de  $\text{O}_3$  muestra un comportamiento similar para ambos periodos analizados (ver cuadro n.º 2 y gráfico 4). Los resultados del cuadro n.º 2 muestran que la concentración de este contaminante aumentó tras la aplicación de MC durante la primavera, el otoño y el invierno, pero disminuyó durante el verano. Sin embargo, estas variaciones no tienen diferencias estadísticas según el test aplicado. En todo caso, todos los valores medios mensuales de  $\text{O}_3$  son inferiores al máximo definido por la UE ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y de acuerdo con los valores del cuadro n.º 2, la población experimenta casi todo el tiempo un aire sin exceso de  $\text{O}_3$  durante la post-MC.

GRÁFICO 2  
CONCENTRACIÓN DE  $\text{NO}_2$  POR HORA EVALUADA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN



Nota: Las rectas presentan la recta de regresión para los valores sensados.  
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 3  
CONCENTRACIÓN DE  $\text{NO}_2$  MENSUAL EVALUADA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN



Nota: Las rectas presentan la recta de regresión para los periodos pre-MC y pos-MC de forma individual.  
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO N.º 2

CONCENTRACIÓN DE O<sub>3</sub> MEDIDA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN

	pre-MC			pos-MC			VARIACIÓN <sup>(*)</sup>
	MED.	IQR	MÁX.	MED.	IQR	MÁX.	
Primavera	51,44	25,61	146	64,43	24,18	169,70	20,16
Verano	61,16	32,31	205	65,57	31,17	163,90	6,71
Otoño	24,49	21,97	134	35,22	24,41	121,70	30,48
Invierno	23,88	18,21	100	33,96	25,64	136,20	29,66

Nota: El asterisco indica que existe una diferencia significativa entre los períodos pre-MC y pos-MC.

Este incremento señalado de O<sub>3</sub> podría deberse a la oxidación del NO, es decir, a la reacción química de O<sub>3</sub> y NO que forma NO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, que se produce en las zonas urbanas. Como la limitación del tráfico rodado reduce la concentración de NO, la parte de O<sub>3</sub> que reacciona con el NO es menor. Por tanto, los niveles de O<sub>3</sub> no disminuyen y, en consecuencia, la concentración de NO<sub>2</sub> producida por la oxidación del NO es menor. En resumen, este repunte puede ser una consecuencia química de la reducción en el aire de las concentraciones de otros componentes.

c) Concentración de SO<sub>2</sub>

Centrándonos en el SO<sub>2</sub>, no hemos constatado una tendencia clara. Para verano y otoño el contaminante se reduce durante pos-MC (esto se confirma de acuerdo con el análisis estadístico). Sin embargo, el SO<sub>2</sub> se incrementa durante el invierno y la primavera (ver el cuadro n.º 3 y el gráfico 5). Esto se debe, principalmente, a que las mayores fuentes de emisiones de SO<sub>2</sub> son la combustión de combustibles fósiles en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales. Por tanto, las medidas o políticas relacionadas con la movilidad no

son adecuadas para reducir la concentración de SO<sub>2</sub> en el aire.

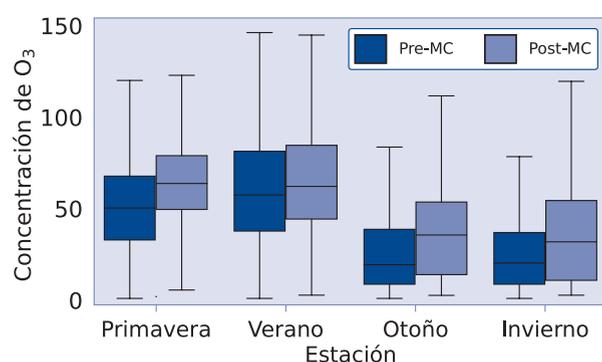
## d) Concentración de CO

En cuanto al CO, al igual que ocurre con el O<sub>3</sub>, la concentración de este contaminante disminuye durante el verano, pero aumenta durante las demás estaciones (véase el cuadro n.º 4 y el gráfico 6). Aunque una de las principales fuentes de este contaminante en lo que respecta al aire exterior son los vehículos de tráfico rodado o la maquinaria que quema combustibles fósiles, no parece que la reducción del tráfico rodado conlleve una disminución del CO.

En todo caso, según la normativa de la UE, no es necesario reducir el CO ya que durante el período de tiempo analizado en este artículo no hay ninguna medición que supere el umbral estipulado por la UE (10 mg/m<sup>3</sup>).

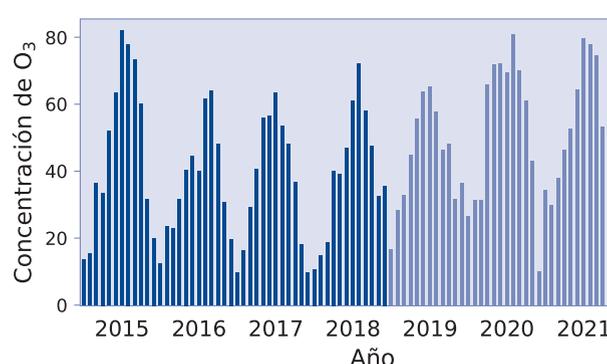
La evaluación de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO indica que el balance medioambiental final no siempre coincide con lo que se esperaba

GRÁFICO 4

CONCENTRACIÓN DE O<sub>3</sub> MEDIDA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN

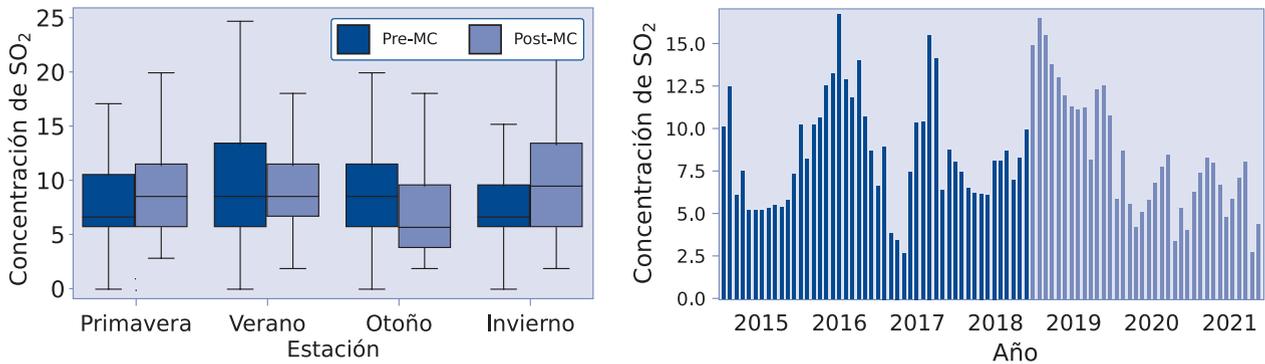
## a) Comparativa por estaciones

Fuente: Elaboración propia.



## b) Concentración media mensual

GRÁFICO 5  
CONCENTRACIÓN DE SO<sub>2</sub> MEDIDA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN



a) Comparativa por estaciones

Fuente: Elaboración propia.

b) Concentración media mensual

CUADRO N.º 3

RESUMEN DE LA CONCENTRACIÓN DE SO<sub>2</sub> MEDIDA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN

	pre-MC			pos-MC			VARIACIÓN <sup>(a)</sup>
	MED.	IQR	MÁX.	MED.	IQR	MÁX.	
Primavera	7,83	4,54	37	7,91	3,48	24	1,02
Verano	9,92	6,03	50	8,13	2,25	18	-21,92*
Otoño	8,69	5,24	42	7,19	5,65	35	-20,88*
Invierno	7,78	5,09	53	9,84	6,06	68	20,91

Nota: El asterisco indica que existe una diferencia significativa entre los períodos pre-MC y pos-MC.

CUADRO N.º 4

CONCENTRACIÓN DE CO MEDIDA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN

	pre-MC			pos-MC			VARIACIÓN <sup>(a)</sup>
	MED.	IQR	MÁX.	MED.	IQR	MÁX.	
Primavera	0,31	0,14	1,90	0,33	0,22	3	3,80*
Verano	0,38	0,28	2,30	0,25	0,18	3	-51,56*
Otoño	0,46	0,32	2,60	0,42	0,24	2	-9,32*
Invierno	0,46	0,28	2,90	0,50	0,34	4,10	8,02*

Nota: El asterisco indica que existe una diferencia significativa entre los períodos pre-MC y pos-MC.

ción de NO<sub>2</sub> y ha mejorado así la calidad del aire en esta zona.

e) *Análisis del efecto frontera: el NO<sub>2</sub> en todo Madrid*

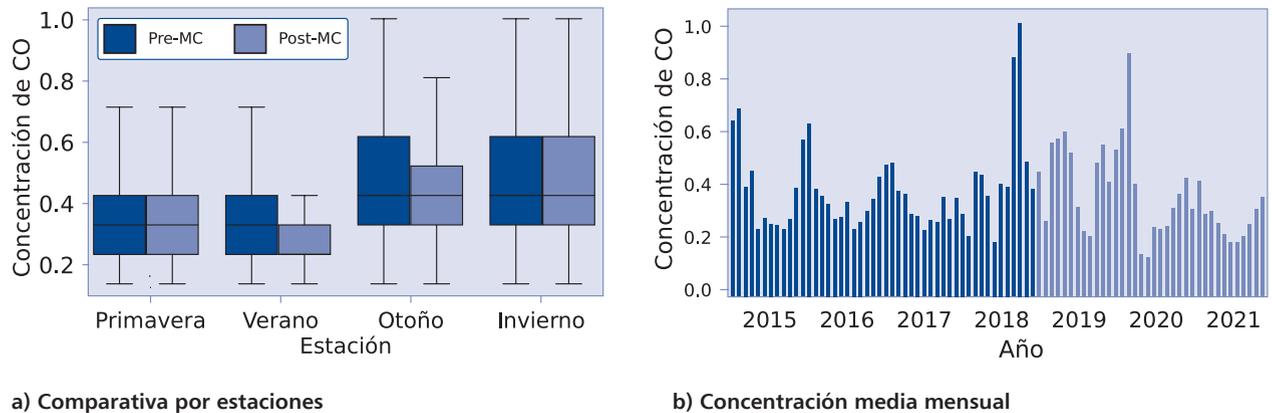
Después de haber comprobado que las medidas aplicadas por el Consistorio han reducido de forma significativa los niveles de concentración de NO<sub>2</sub> en el distrito centro, esta sección pretende confirmar que esta importante reducción de las emisiones de NO<sub>2</sub> no ha conllevado su aumento en otras zonas debido a una hipotética redirección del tráfico (lo que estaría causando un efecto frontera). Así, analizamos la información de 23 sensores de calidad del aire instalados por toda la ciudad.

Los resultados se muestran de forma gráfica mediante un diagrama de caja que indica los niveles de concentración de NO<sub>2</sub> para toda la ciudad y para todos los años estudiados en este trabajo. El gráfico 7 muestra cómo los años a partir de la implantación de la ZBE son los que registran la menor cantidad de NO<sub>2</sub> en el aire. Comprobamos tam-

intuitivamente. Sin embargo, es importante señalar que MC demuestra su eficacia para reducir la concentración de NO<sub>2</sub>, que fue una de las principales motiva-

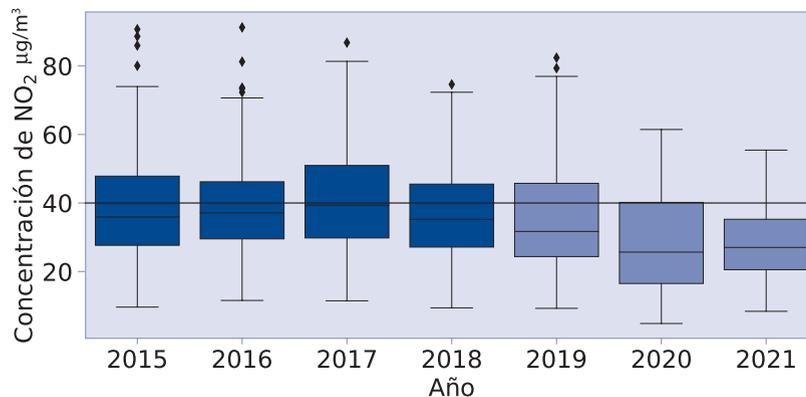
ciones para desarrollar esta ZBE. Por tanto, podemos afirmar que la restricción del tráfico rodado aplicada en el MC ha reducido significativamente la concentra-

GRÁFICO 6  
CONCENTRACIÓN DE CO MEDIDA EN EL SENSOR DE PLAZA DEL CARMEN



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 7  
CONCENTRACIÓN DE NO<sub>2</sub> MEDIDA POR TODOS LOS SENSORES DE LA CIUDAD PARA LOS AÑOS DESDE 2015 AL 2021



Fuente: Elaboración propia.

bién que, como han señalado diversos estudios, las medidas llevadas a cabo para mitigar el impacto de la COVID-19 hacen que 2020 sea el año con mejor calidad del aire.

El cuadro n.º 5 muestra la mediana anual de concentración de NO<sub>2</sub> para cada uno de los sensores instalados en Madrid. La última columna presenta la variación de la concentración de

NO<sub>2</sub> para dichos sensores. Como se puede observar existe una tendencia clara a reducir el nivel de NO<sub>2</sub> para todos los sensores. Si bien, es cierto que la reducción mayor de la concentración de dicho contaminante se da en el sensor instalado en la plaza del Carmen (es decir, distrito centro), para todos los demás sensores se da una reducción de la concentración de NO<sub>2</sub> (mejora de la calidad del aire) confirmada por

el test estadístico aplicado. Así pues, estos resultados indican que, en general, el despliegue de la ZBE tiene un impacto positivo en toda la ciudad porque, tras su implantación, el aire de Madrid es, en general, más saludable (contiene menos NO<sub>2</sub>). Con esto se confirma que no existe un efecto frontera.

A su vez, estos resultados están en consonancia con los estudios previos que reconocen que los niveles de concentración de NO<sub>2</sub> en Madrid están dominados por el tráfico local (hasta el 90 por 100). Así pues, la reducción del tráfico rodado conlleva una reducción de la concentración de NO<sub>2</sub> en esta ciudad.

### 3. Reflexiones finales sobre MC

Lo cierto es que MC se convierte en un símbolo político, pero del que después consigue reapropiarse parte de la ciudadanía, llegándose a organizar la Plataforma en Defensa de Madrid Central. Su importancia no es menor, pues expresa no solo

CUADRO N.º 5

**MEDIANA ANUAL DE LA CONCENTRACIÓN DE NO2 MEDIDA EN TODOS LOS SENSORES DE LA CIUDAD PARA LOS AÑOS DESDE 2015 AL 2021**  
(Variación entre los períodos pre-MC y pos-MC)

UBICACIÓN DEL SENSOR	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	VARIACIÓN <sup>90</sup>
Plaza del Carmen	39	43	44	43	36	26	23	-15,2*
Avda. Ramón y Cajal	35	38	37	36	33	27	24	-9,4*
Arturo Soria	31	32	32	31	27	21	18	-10,5*
Villaverde	29	32	34	31	27	25	23	-8,1*
Farolillo	28	31	32	29	25	22	19	-9,1*
Casa de Campo	14	15	15	14	12	11	10	-4,2*
Barajas Pueblo	26	28	31	31	29	23	20	-5,9*
Moratalaz	30	33	33	33	29	24	22	-7,7*
Cuatro Caminos	36	36	36	36	32	25	22	-9,3*
Barrio del Pilar	32	32	32	31	27	22	19	-10,5*
Vallecas	32	30	32	30	27	24	21	-7,6*
Méndez Álvaro	26	29	31	30	26	21	18	-9,1*
Paseo de la Castellana	33	34	33	33	30	23	21	-8,0*
Parque del Retiro	22	25	25	23	20	16	15	-8,3*
Plaza de Castilla	39	39	37	34	32	25	24	-9,7*
Ensanche de Vallecas	26	29	27	28	27	24	20	-7,5*
Urb. Embajada	33	37	38	37	32	24	21	-11,0*
Pza. Elíptica	47	49	49	48	46	40	34	-11,1*
Sanchinarro	24	26	25	23	22	18	16	-6,6*
El Pardo	11	14	14	12	11	10	10	-2,5*
Juan Carlos I	15	15	17	18	18	14	13	-2,0*
Tres Olivos	24	27	26	22	19	17	19	-7,5*
Escuelas Aguirre	36	38	37	40	48	37	30	-4,3*

Nota: El asterisco (\*) indica los casos donde hay diferencia significativa.

la capacidad de adhesión a la norma por parte de la población y la predisposición al cambio comportamental (y con ello, su efectividad en términos prácticos), sino que además muestra la sensibilidad que tienen ciertos colectivos (organizados, activos y cuantitativamente nada desdeñables) con respecto a la salud urbana y la reducción de la contaminación. Este aspecto nos permitiría asumir que la ciudadanía española está preparada para un cambio en la concepción de la movilidad.

La historia de MC es compleja: desde su origen estuvo cargada de polémica, recibiendo un fuerte rechazo por parte de grupos políticos y asociaciones de empresarios. Sin embargo, y a pesar de su corta vida, los datos muestran

que mejora la calidad del aire de la ciudad de forma notable. La Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente, en inglés, *European Federation for Transport and Environment* (2019) afirmó que MC llegó a ser el área europea que más reducía la contaminación. No es un halago menor habiendo 280 zonas de bajas emisiones en la UE y teniendo la de Madrid, con solo 4,7 kilómetros, un tamaño mínimo en comparación con los 88 kilómetros cuadrados de la de Berlín, por ejemplo.

Pero el caso de MC resulta interesante por otros motivos: en tan breve tiempo, consigue convertirse en un estandarte y pone sobre la mesa el debate entre quienes conciben el uso del vehículo privado como parte del derecho a la movilidad y quie-

nes reclaman el derecho a respirar aire limpio. Madrid Central despierta rechazo, pero también un fuerte movimiento a favor.

## V. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

En este artículo hemos valorado los efectos de MC con respecto a su finalidad principal (reducción de emisiones contaminantes) y su recepción pública y política. Lo que nos muestra la normativa de bajas emisiones en la zona centro de Madrid es que, al margen de la forma o de los instrumentos concretos para llevarlo a cabo, las fuerzas políticas aceptan la necesidad de reducir las emisiones y de cambiar la forma de movilidad en la ciudad. Solemos asumir

que son los cambios en las pautas individuales de movilidad las que muestran el compromiso que la sociedad tiene con el cambio climático y con la salud urbana, pero el mayor indicativo de compromiso de una sociedad es que fuerzas políticas que se resistieron a cumplir con una norma, hoy (independientemente de las modificaciones) acojan la norma como suya y ensalcen las virtudes. La transición ecológica deja de ser una cuestión de color político (con salvedades y sin querer simplificar el proceso) para ser una agenda compartida, en mayor o medida, por la mayor parte del espectro político. Ni el marco normativo internacional ni el electorado dejarán que esto sea de otra forma.

Con respecto a las limitaciones de este estudio, hubiera sido especialmente relevante analizar de qué forma ha cambiado la movilidad de los habitantes en la zona centro de la ciudad bajo estas ZBE, pero la «ajetreada» vida de MC y las restricciones a la movilidad derivadas de la alerta sanitaria por COVID-19 impiden analizar correctamente el impacto que las directrices de la ZBE tuvieron en el potencial cambio comportamental de la población. No obstante, la experiencia singular de esta ZBE en Madrid resulta un caso de análisis excepcional para conocer el potencial papel que las ciudades pueden tener en la lucha contra las emisiones contaminantes procedentes del tráfico y para visualizar el calado que las directrices internacionales sobre movilidad y emisiones tienen en el ámbito municipal. Como era esperable, esta tampoco es una solución libre de dificultades u oposición, aunque numerosas ciudades han demostrado que medidas como la reducción del

tráfico rodado, además de reducir los contaminantes, tienen efectos positivos sobre el turismo y la creación de empleo, la mejora de la seguridad y el uso del espacio público.

Sabemos que dentro de treinta años las ciudades españolas deberán ser neutras en carbono, libres de contaminación y circulares en el uso de los recursos. Hasta el momento, en España las principales medidas adoptadas parecen ser las relacionadas con movilidad y ordenación del tráfico, fomento de alternativas al uso del vehículo privado y a su renovación hacia vehículos Eco o Cero emisiones, y fomento y mejora del transporte público. No obstante, esta no es la única forma ni será suficiente: ciudades como Madrid necesitarán abordar cambios de profundo calado en diferentes frentes, desarrollando un modelo urbano más sostenible, ordenado y compacto y transformando sus modelos de movilidad. Entre las actuaciones que contemple este cambio, será imperativo reducir el uso del vehículo privado en favor del transporte público, mejorando la eficiencia en rutas y frecuencias mediante técnicas de inteligencia artificial (digitalización en transportes de mercancías, opciones recogidas en normativa actual, como la nueva Ley de Movilidad Sostenible y Financiación del Transporte) y facilitar los viajes multimodales. La accesibilidad económica también es clave, a fin de posibilitar la justicia espacial a todos los grupos socioeconómicos.

Otra vía complementaria será apostar por la movilidad compartida y, sobre todo, por la movilidad activa. En este sentido, es necesario aumentar y mejorar los carriles bici, sin olvidar la con-

vencia peatonal y la atención a las personas con problemas de movilidad. Del mismo modo, este nuevo modelo de movilidad debe apostar siempre por la inclusión, evitando edadismos y capacitismos.

Esta no será la única forma de reducir los atascos, para lo que los semáforos y aparcamientos inteligentes y conectados podrían ser clave. No podemos olvidar tampoco la optimización de la logística de reparto en ciudades, estableciendo un marco normativo y de incentivos que promueva el uso de vehículos bajos en emisiones y que promueva alternativas a los problemas de la última milla, como el reparto urbano inteligente y aplicaciones de la digitalización.

Por último, no debemos olvidar que el desplazamiento que menos contamina es el que no se hace: reducir los desplazamientos innecesarios será la mejor medida, con medidas como la implantación o ampliación del teletrabajo en aquellos sectores en los que es posible y para aquellos trabajadores y trabajadoras que lo deseen.

#### NOTAS

(1) Aprobado mediante la Ordenanza 4/2021, de 30 de marzo, de Calidad del Aire y Sostenibilidad. Se completa con la nueva Ordenanza de Movilidad Sostenible, que añade nuevas propuestas a la anterior (cambiando 41 de los 245 artículos que lo conforman).

#### BIBLIOGRAFÍA

ANFAC (2021). *Informe anual 2020*. Disponible en: <https://anfac.com/publicaciones/informe-anual-2020/>

ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS (1989). *Convention on the Rights of the Child*. *United Nations, Treaty Series* 1577.3, pp. 1-23.

<p>AYUNTAMIENTO DE MADRID (2019). <i>MADRID 360, la estrategia para cumplir con los objetivos de calidad del aire de la Unión Europea</i>. Disponible en: <a href="https://www.madrid.es">https://www.madrid.es</a></p> <p>BAKALAR (2019). Air Pollution May Damage the Brain. <i>New York Times</i>. Disponible en: <a href="https://www.nytimes.com/2019/11/25/well/mind/air-pollution-brain-dementia-alzheimer-memory.html">https://www.nytimes.com/2019/11/25/well/mind/air-pollution-brain-dementia-alzheimer-memory.html</a></p> <p>BASNER, M., BABISCH, W., DAVIS, A., BRINK, M., CLARK, C., JANSSEN, S. y STANSFELD, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health». <i>The Lancet</i>, 383, pp. 1325-1332.</p> <p>BOAM n.º 8868/829 (16/04/2021) - Acuerdo de 30 de marzo de 2021 del Pleno del Ayuntamiento de Madrid que aprueba la Ordenanza 4/2021 de Calidad del Aire y Sostenibilidad.</p> <p>BOAM n.º 8979 (21/09/2021): Acuerdo de 13 de septiembre de 2021 del Pleno por el que se aprueba la Ordenanza 10/2021.</p> <p>BOE 2019. Real Decreto 316/2019, de 26 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 616/2017 que regula la concesión directa de subvenciones a proyectos singulares de entidades locales que favorezcan el paso a una economía baja en carbono en el marco del programa operativo FEDER de crecimiento sostenible 2014-2020.</p> <p>BOE (2021). Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética.</p> <p>CAYWOOD, M., y ROY, A. (2018). <i>Universal Basic Mobility is coming. And it's long overdue. CityLab (blog) 3</i>. Disponible en: <a href="https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-10-03/universal-basic-mobility-is-a-human-right">https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-10-03/universal-basic-mobility-is-a-human-right</a></p> <p>CHEN, W., YAN, L. y ZHAO, H. (2015). Seasonal variations of atmospheric pollution and air quality in Beijing. <i>Atmosphere</i>, 6, pp. 1753-1770 .</p> <p>DE BRUYN, S. y DE VRIES, J. (2020). <i>Health costs of air pollution in European cities and the linkage with transport. CE Delft</i>. Disponible en: <a href="https://epha.org/wp-content/uploads/2020/10/final-health-costs-of-air-pollution-in-european-cities-and-the-linkage-with-transport.pdf">https://epha.org/wp-content/uploads/2020/10/final-health-costs-of-air-pollution-in-european-cities-and-the-linkage-with-transport.pdf</a></p>	<p>DE GREGORIO HURTADO, S. (2019). <i>Algunos retos pendientes de la movilidad urbana en el distrito Centro de Madrid</i>. Ayuntamiento de Madrid.</p> <p>ECOLOGISTAS EN ACCIÓN (2020). <i>La calidad del aire español durante 2020</i>. Disponible en: <a href="https://www.ecologistasenaccion.org/174350/la-contaminacion-atmosferica-cae-a-sus-niveles-mas-bajos-de-la-ultima-decada-2/">https://www.ecologistasenaccion.org/174350/la-contaminacion-atmosferica-cae-a-sus-niveles-mas-bajos-de-la-ultima-decada-2/</a></p> <p>EEA (2020). <i>Air quality in Europe: 2019</i>. Disponible en: <a href="https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report">https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report</a></p> <p>EEA (2021). <i>Air quality in Europe: 2021 report</i>. Disponible en: <a href="https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021">https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021</a></p> <p>EUROPEAN COMMISSION (2004). Directive 2004/107/EC of the European parliament and of the Council relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air.</p> <p>EUROPEAN COMMISSION (2004). <i>Reclaiming City Streets for People: Chaos Or Quality of Life?</i> Office for Official Publications of the European Communities.</p> <p>EUROPEAN COMMISSION (2008). Directive 2008/50/EC of the European parliament and of the council on ambient air quality and cleaner air for Europe.</p> <p>EUROSTAT (2021). <i>Stock of vehicles by category and NUTS 2 regions</i>.</p> <p>FERRERO, B. y DE VEGA, L. (2021). El Supremo deja en el aire Madrid Central. <i>El País</i>. Disponible en: <a href="https://elpais.com/espana/madrid/2021-05-11/el-supremo-tumba-el-recurso-de-ecologistas-contra-madrid-central.html">https://elpais.com/espana/madrid/2021-05-11/el-supremo-tumba-el-recurso-de-ecologistas-contra-madrid-central.html</a></p> <p>FRONTERA, A., FRONTERA, A., CIANFANELLI, L., VLACHOS, K., LANDONI, G. y CREMONA, G. (2020). Severe air pollution links to higher mortality in COVID-19 patients: The «double-hit» hypothesis. <i>Journal of Infection</i> 81(2), pp. 255-259.</p> <p>GOINES, L. y HAGLER, L. C. M. (2007). Noise Pollution: A Modern Plague. <i>South Med J</i>, 100(3), pp. 287-94. doi: 10.1097/smj.0b013e3180318be5</p>	<p>HAGESTAD, G. O. y UHLENBERG, P. (2006). Should We Be Concerned About Age Segregation?: Some Theoretical and Empirical Explorations. <i>Research on Aging</i>, 28(6), pp. 638-653. <a href="https://doi.org/10.1177/0164027506291872">https://doi.org/10.1177/0164027506291872</a></p> <p>HEI (2018). <i>State of Global Air</i>. Boston: Boston: Health Effects Institute. <a href="https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_report.pdf">https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_report.pdf</a></p> <p>INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA (2019). <i>Guía IDAE: Planes de Transporte al Trabajo: Muévete con un Plan</i>. Disponible en: <a href="https://www.movilidad-idae.com/sites/default/files/2019-06/Guia-IDAE-019_PTT.PDF">https://www.movilidad-idae.com/sites/default/files/2019-06/Guia-IDAE-019_PTT.PDF</a></p> <p>LANZI, E. (2016). <i>The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution</i>. Organization for Economic Cooperation and Development. Disponible en: <a href="https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.Pdf">https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.Pdf</a></p> <p>LEBRUSÁN, I. (2020). Las dificultades para habitar en la vejez. <i>Documentación Social</i>, 1 (1). Disponible en: <a href="https://documentacion-social.es/tag/ageing-in-place/">https://documentacion-social.es/tag/ageing-in-place/</a></p> <p>LEBRUSÁN, I. (2021). ¿No es ciudad para viejos?: Los ODS y la experiencia de envejecer en las ciudades españolas. En M. GONZÁLEZ y S. DE GREGORIO, S. (coord.), <i>Políticas urbanas y localización de los objetivos de desarrollo sostenible: teoría y práctica</i>, pp. 359-383. Valencia: Tirant lo Blanch.</p> <p>LEBRUSÁN MURILLO, I. (2019). <i>La vivienda en la vejez: problemas y estrategias para envejecer en sociedad</i>. Politeya: estudios de política y sociedad. Madrid: CSIC.</p> <p>LEBRUSÁN, I. y TOUTOUH, J. (2019): Assessing the environmental impact of car restrictions policies: Madrid Central case. <i>Ibero-American Congress of Smart Cities</i>, pp. 9-24. Springer, Cham.</p> <p>LEBRUSÁN, I. y TOUTOUH, J. (2020). Using Smart City Tools to Evaluate the</p>
---	---	---

Effectiveness of a Low Emissions Zone in Spain: Madrid Central. *Smart Cities*, 3(2), pp. 456-478.

LEBRUSÁN, I. y TOUTOUH, J. (2021). Car restriction policies for better urban health: a low emission zone in Madrid, Spain. *Air Quality, Atmosphere & Health* 14(3), pp. 333-342.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA (2019). *Agenda Urbana Española*. Madrid. Disponible en: [www.aue.gob.es](http://www.aue.gob.es)

NACIONES UNIDAS (1989). Convención sobre los Derechos del Niño, 20 noviembre 1989. United Nations. *Treaty Series*, vol. 1577, p. 3. Disponible en: <https://www.refworld.org/es/docid/50ac92492.html>

NACIONES UNIDAS (2020). *Foresight brief: Challenges for the growth of the electric vehicle market*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/33111/FB17.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2006a). *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2006b). *Promoting physical activity and active living in urban environments*.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2018). *WHO environmental noise guidelines for the European region*.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2021a). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2021b). *Ambient (outdoor) air pollution*. Disponible en: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

PALOMARES-LINARES, I., FERIA, J. M., y SUSINO, J. (2018). Mesura i evolució de la

mobilitat residencial en les àrees metropolitanas españolas. *Papers: Revista de Sociologia*, 102(4), pp. 545-574.

PARAJULI, A. y POJANI, D. (2018). Barriers to the pedestrianization of city centres: perspectives from the Global North and the Global South. *Journal of Urban Design*, 23(1), pp. 142-160. <https://doi.org/10.1080/13574809.2017.1369875>

PHILLIPSON, C. (2011). Developing age-friendly communities: new approaches to growing old in urban environments. En R. A. SETTERSTEN y J. L. ANGEL (eds.), *Handbook of sociology of aging*, pp. 279-293. New York: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7374-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7374-0_18)

PLANELLES, E. (Madrid, 29 de junio 2019). Miles de personas salen en defensa de Madrid Central. *El País*. [https://elpais.com/sociedad/2019/06/29/actualidad/1561814312\\_930465.html](https://elpais.com/sociedad/2019/06/29/actualidad/1561814312_930465.html)

RAASCHOU-NIELSEN, O., ANDERSEN, Z. J., BEELLEN, R., SAMOLI, E., STAFOGGIA, M., WEINMAYR, G., HOFFMANN, B., FISCHER, P., NIEUWENHUIJSEN, M. J., BRUNEKREEF, B., XUN, W. W., KATSOUYANNI, K., DIMAKOPOULOU, K., SOMMAR, J., FORSBERG, B., MODIG, L., OUDIN, A., OFTEDAL, B., SCHWARZE, P. E., NAFSTAD, P., DE FAIRE, U., PEDERSEN, N. L., OSTENSON, C. G., FRATIGLIONI, L., PENELL, J., KOREK, M., PERSHAGEN, G., ERIKSEN, K. T., SØRENSEN, M., TJØNNELAND, A., ELLERMANN, T., EEFTEENS, M., PEETERS, P. H., MELIEFSTE, K., WANG, M., BUENO-DE-MESQUITA, B., KEY, T. J., DE HOOGH, K., CONCIN, H., NAGEL, G., VILIER, A., GRIONI, S., KROGH, V., TSAI, M. Y., RICCI, F., SACERDOTE, C., GALASSI, C., MIGLIORE, E., RANZI, A., CESARONI, G., BADALONI, C., FORASTIERE, F., TAMAYO, I., AMIANO, P., DORRONSORO, M., TRICHOPOULOU, A., BAMIA, C., VINEIS, P. y HOEK, G. (2013). Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology*, 14(9), pp. 813-822. doi: 10.1016/S1470-2045(13)70279-1

SCHRAUFNAGEL, D. E., BALMES, J. R., COWL, C. T., DE MATTEIS, S., JUNG, S. H., MORTIMER, K., PÉREZ-PADILLA, R., RICE,

M. B., RIOJAS-RODRÍGUEZ, H., SOOD, A., THURSTON, G. D., TO, T., VANKER, A. y WUEBBLES, D. J. (2019). Air pollution and noncommunicable diseases: A review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air pollution and organ systems. *Chest*, 155(2), pp. 417-426. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041>

SONI, N. (2016). Benefits of pedestrianization and warrants to pedestrianize an area. *Land Use Policy*, 57, pp. 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.05.009>

STEELE, C. (2001). A critical review of some traffic noise prediction models. *Appl Acoust*, 62 (3), pp. 271-287. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(00\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(00)00030-X)

TOBON, M., JARAMILLO, J. P. y SARMIENTO, I. (2018). Pedestrianization and semi-pedestrianization: a model for recovery public space in the Medellín downtown. En: *MOVICI-MOYCOT joint conference for urban mobility in the smart city*, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1049/ic.2018.0024>

TONUCCI, F. (2005). Citizen child: Play as welfare parameter for urban life. *Topoi*, 24, pp. 183-195.

TOUTOUH, J., LEBRUSÁN, I. y NESMACHNOW, S. (2020). Computational intelligence for evaluating the air quality in the center of Madrid, Spain. En: *International Conference on Optimization and Learning*, pp. 115-127. Cham: Springer.

UITP (UNION INTERNATIONALE DES TRANSPORTS PUBLICS). <https://www.uitp.org/data/>

WAHL, H.-W. y WEISMAN, J. (2003). Environmental gerontology at the beginning of the new millennium: reflections on its historical, empirical, and theoretical development. *The Gerontologist ('The Forum')*, 43, pp. 616-627.

WARD, S. V. (2010). What did the Germans ever do for us? A century of British learning about and imagining modern town planning. *Plan Perspect*, 25(2), pp. 117-140. <https://doi.org/10.1080/02665431003612883>