

¿A QUIÉN AFECTA MADRID CENTRAL? ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN EL TRÁFICO TRAS UN AÑO DESDE SU IMPLANTACIÓN.

Rodrigo Cuevas-Wizner

Investigador, TRANSyT-UPM, España

Emilio Ortega

Profesor Contratado Doctor, TRANSyT-UPM, España

Belén Martín

Profesor Contratado Doctor, TRANSyT-UPM, España

RESUMEN

En noviembre de 2018, se puso en marcha Madrid Central, una zona de bajas emisiones en la ciudad que tiene como objetivo favorecer al peatón, la bicicleta y el transporte público, limitando el acceso de una gran parte del parque de vehículos privados, en una superficie de 472 ha. La medida ha resultado ser de gran relevancia para la opinión pública y se espera que haya modificado de manera sustancial los patrones de movilidad en el centro de Madrid y sus alrededores.

El objetivo de este trabajo es estudiar los cambios producidos en el tráfico por la implantación de Madrid Central, tanto dentro del perímetro de la zona de bajas emisiones como en su área de influencia, y analizar si existen tendencias que correlacionen con variables socioeconómicas de la ciudad o tendencias espaciotemporales. Para lograr este objetivo, se analizan datos públicos de tráfico del Ayuntamiento de Madrid (Sistema Integral de Control de Tráfico de Madrid, SICTRAM).

En concreto, se analiza la intensidad de tráfico, el número de vehículos por hora que circulan por las calles. Se han descargado datos desde enero de 2018 hasta diciembre de 2019, lo que permite realizar un análisis de su evolución temporal y espacial, tanto en el área de bajas emisiones como en los distritos colindantes, y relacionarla con la implantación de Madrid Central.

Asimismo, se analizan variables socioeconómicas de la población directamente afectada por la medida (población y renta anual neta). Este análisis se realiza de manera gráfica, visualizando los resultados espacialmente y temporalmente. Los resultados del análisis muestran una disminución general en el tráfico de la ciudad, aunque esta no se distribuye homogéneamente.

1. INTRODUCCIÓN

Disminuir la contaminación atmosférica en las ciudades es una de los mayores retos ambientales actuales, ya que allí es donde encontramos las mayores densidades de población (Gakidou, 2017; Santiago et al., 2021). La contaminación perjudica seriamente la salud de las personas, aumentando los riesgos de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, (Chiusolo et al., 2011; Medina-Ramón, 2006; Santurtún et al., 2017) o el riesgo de cáncer (Vineis et al., 2006). Diferentes ciudades europeas han iniciado acciones para reducir los efectos negativos de la contaminación en los últimos años, como: Berlín, París, Viena, *etc.* (Viana et al. 2020). El municipio de Madrid es la ciudad más poblada y con mayor tráfico de España. Existe actualmente una importante preocupación en relación a la calidad del aire y la mejora de la configuración urbana. Con el objetivo de mejorar esta situación, desde el ayuntamiento se han estado poniendo en práctica diferentes medidas de gestión del tráfico. En el año 2004, se comenzaron a implantar en Madrid un nuevo conjunto de restricciones al tráfico para limitar la circulación por diferentes zonas, denominadas Área de Prioridad Residencial (APR), siendo la primera en el Barrio de las Letras (Ayuntamiento de Madrid, 2007). Este proceso de delimitar el tráfico en el centro de la ciudad ha ido incluyendo nuevas zonas hasta culminar con la creación de la zona cero de emisiones de Madrid central el 30 de noviembre de 2018, y siendo el 15 de marzo de 2019 cuando se hizo realmente efectiva, al comenzar las sanciones por incumplir las restricciones impuestas. Las medidas impulsadas buscan priorizar el movimiento peatonal, el uso de la bicicleta, el transporte público y los vehículos eléctricos o de bajas emisiones.

Esta área permanente cumple con los criterios que autores como Laña et al. (2016) proponen como solución para la ciudad de Madrid por sus características. El área limitada coincide aproximadamente con los límites del distrito centro de Madrid (Figura 1).

Entre los objetivos que planteaba el Ayuntamiento de Madrid en el Plan A de Calidad del Aire (Ayuntamiento de Madrid, 2017), se pueden destacar los siguientes: (i) mejorar los niveles de calidad del aire para partículas en suspensión (PM) según las recomendaciones de la OMS (Organización Mundial de la Salud); y (ii) cumplir el compromiso de reducción del 50% de las emisiones causadas por la movilidad urbana en 2030 con respecto a 2012.

Estos objetivos se pueden relacionar directamente con la cantidad de tráfico en la ciudad.

Actualmente, el Plan A de Calidad del Aire, ha sido sustituido por la Estrategia de Calidad Ambiental Madrid 360 (Ayuntamiento de Madrid, 2019a), que amplía en un 15% sus objetivos de reducir las emisiones y añade otras medidas como el servicio de varias líneas de autobús gratuitas.

El impacto de la medida de Madrid Central ha sido estudiado previamente. Salas et al. (2021) se centraron en el análisis de indicadores de los niveles de contaminación: la evolución de las emisiones de NO₂ entre 2015 y 2019); Izquierdo et al. (2020) estudiaron el aumento entre 2012 y 2020 del NO₂, PM_{2.5} y O₃, y su correlación con la disminución de muertes relacionadas con la contaminación); y Santiago et al. (2021) investigaron la incidencia de la contaminación en puntos clave de la ciudad, obteniendo unos resultados que relacionan de manera positiva las medidas tomadas con una reducción de la contaminación. Este trabajo complementa estos resultados previos, aportando un enfoque diferente, centrado en la evolución del tráfico el año previo a la implantación del Madrid Central y el año posterior, como se ha realizado previamente en otros trabajos (Vidal, 1990; Gutiérrez y García, 2005).



Fig. 1 – Límite de la zona de cero emisiones de Madrid Central (Elaboración propia a partir de los datos del MTN50)

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El Ayuntamiento de Madrid dispone de un dispositivo de muestreo del tráfico (Sistema Integral de Control de Tráfico de Madrid, SICTRAM) donde se recogen los datos de intensidad, carga y ocupación del tráfico, cada 15 minutos desde el año 2013. Se trata de un dispositivo móvil donde las estaciones pueden variar a lo largo de los meses.

Aproximadamente se toman datos en 4500 estaciones de forma mensual.

Para evaluar el impacto de la medida implantada, el análisis se ha centrado en la intensidad de tráfico (vehículos/hora) al ser la variable más relacionada con la calidad del aire y la contaminación acústica de las disponibles en las estaciones de medición del tráfico. En total, se han seleccionado un total de 3561 estaciones de medición, incluidas dentro de la zonificación definida y con datos a lo largo de todo el alcance temporal establecido (Figura 2)

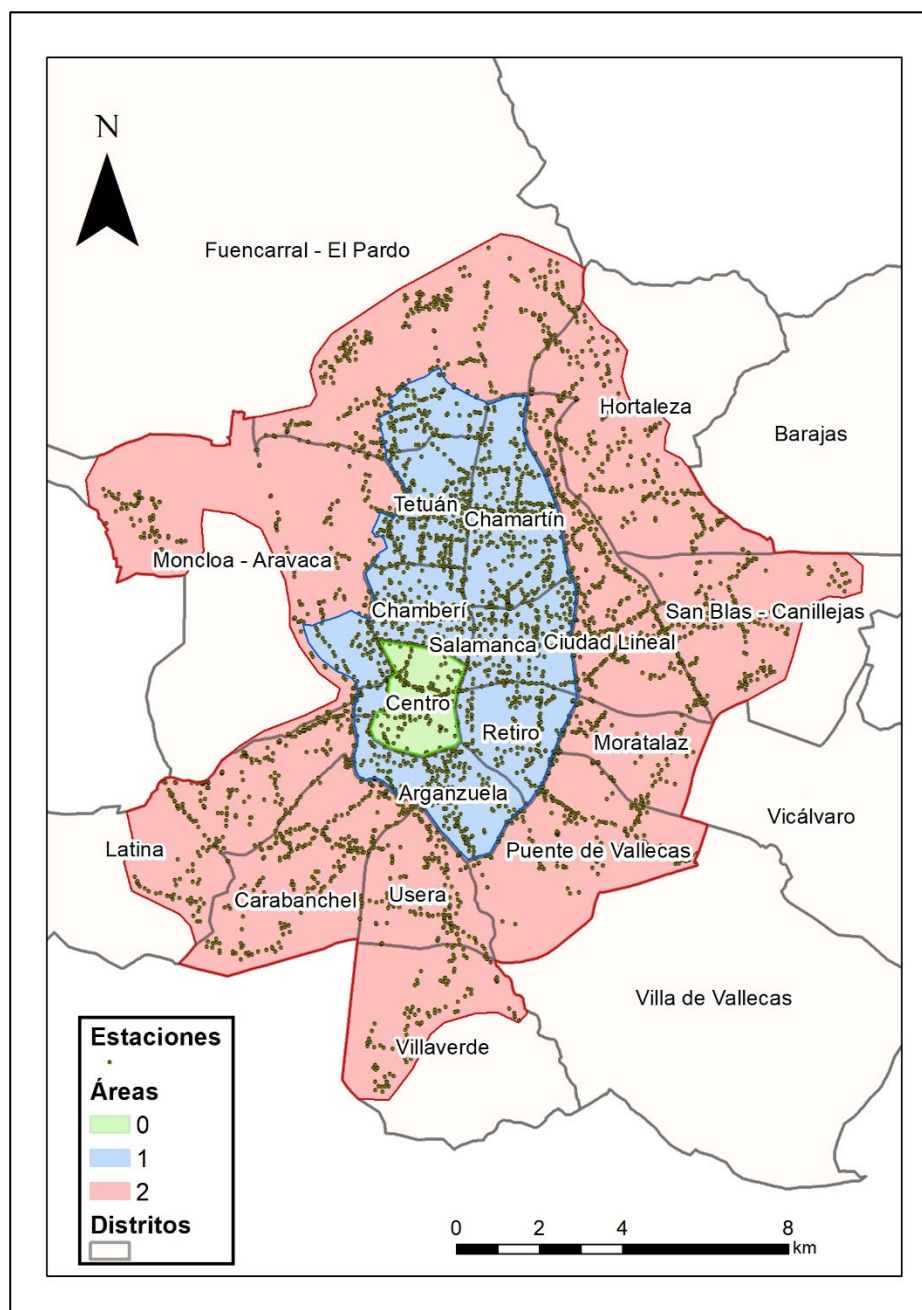


Fig. 2 – Áreas de estudio delimitadas y estaciones de medición del tráfico del SICTRAM seleccionadas en la ciudad de Madrid

2.1 Análisis espaciotemporal de la intensidad de tráfico

Los datos de intensidad de tráfico se han clasificado en función de la posición espacial de las estaciones de medición y la fecha y hora en las que el dato de intensidad se ha tomado. Los datos de intensidad de tráfico han sido promediados de manera conjunta para: cada mes, cada área de estudio, cada distrito y cada franja horaria. Este análisis de datos se ha realizado utilizando un programa desarrollado en los lenguajes de programación de C++ y R.

2.1.1 Análisis espacial

Para visualizar la distribución espacial del impacto de la medida, se han establecido dos divisiones geográficas. Una primera división en tres zonas concéntricas al centro de la ciudad, para estudiar el impacto de la medida por proximidad a la zona cero de emisiones, y una segunda división siguiendo los límites administrativos de los distritos de la ciudad de Madrid.

Las zonas concéntricas elegidas están ilustradas en la Figura 2, y son:

- Área 0, que se corresponde con el lugar de implantación de la zona cero de emisiones de Madrid Central, dónde se han excluido las calles del perímetro exterior, al no existir restricciones para su circulación.
- Área 1, que coincide con el actual servicio de estacionamiento regulado (SER), conocida también como almendra central, excluyendo su perímetro exterior que incluiría gran parte de la M-30.
- Área 2, correspondiente con la zona más periférica de la ciudad, hasta donde se disponía de un mínimo de datos de tráfico. Por este motivo, los distritos de Villa de Vallecas, Vicálvaro y Barajas han sido excluidos totalmente, y otros distritos como Fuencarral - El Pardo, Hortaleza, Villaverde, Latina o Moncloa – Aravaca se incluyen parcialmente.

2.1.2 Análisis temporal

A nivel temporal, se ha considerado que los datos de intensidad de tráfico tienen un carácter estacional anual, por lo cual, se ha decidido comparar los datos de las estaciones entre el año previo a su implantación y el año posterior (2018 y 2019). La capacidad de análisis y la falta de información de los siguientes años no ha permitido ampliar el horizonte temporal.

Para comparar entre ambos años, se ha agregado la información de los datos obtenidos de intensidad de tráfico en cada una de las estaciones de manera mensual.

Por otro lado, también se ha considerado que los datos de intensidad de tráfico también tienen un carácter estacional horario (Monzón et al., 1999), por lo que se ha agrupado los

datos de intensidad de tráfico, de cada una de las estaciones, en cuatro franjas horarias: a lo largo de todo el día (00:00 – 24:00), por la mañana (7:00 – 19:00), por la tarde (19:00 – 23:00) y por la noche (23:00 – 7:00); siguiendo la misma clasificación establecida por el Ayuntamiento de Madrid para la evaluación del ruido.

2.2 Datos socioeconómicos

Para abordar el análisis socioeconómico, se ha usado la división administrativa de los distritos de Madrid. Para evaluar el impacto de la medida, se ha correlacionado la variación en la intensidad de tráfico media mensual en cada distrito con (i) los datos de población, como indicador de cuánta gente se ve afectada por la medida, y (ii) la renta anual media, como indicador de la distribución social del impacto. Ajustando una primera regresión lineal a la variación en la intensidad con la población y una segunda regresión lineal con la renta anual media. Los datos se han tomado del año 2019, en el portal web de estadística del Ayuntamiento de Madrid (2020).

3. RESULTADOS

En este apartado, se incluyen los resultados obtenidos del análisis de tráfico de forma general y agregados en las diferentes categorías espaciotemporales establecidas. Después se incluye la relación observada entre la variación en la intensidad de tráfico y los datos socioeconómicos.

3.1 Intensidad de tráfico

Los datos medios anuales de intensidad de tráfico muestran un impacto positivo de la medida en la disminución del tráfico. En cada una de las zonas concéntricas de estudio (Tabla 1), se observa que hay una tendencia radial, siendo el área con una mayor disminución el Área 0, después el Área 1 y por último el Área 2, siendo notable la diferencia entre el Área 0 con las demás. En cuanto a las diferencias por franja horaria (Tabla 2), la disminución es muy similar por la mañana y por la tarde, equiparable a la media de todo el día. El impacto de la medida ha sido menor en el tráfico nocturno.

Área de estudio	Variación en la intensidad de tráfico media anual (2018 a 2019)
Área 0	-6,95%
Área 1	-2,49%
Área 2	-1,82%

Tabla 1 – Variación de la intensidad de tráfico media anual entre 2018 y 2019 en las tres áreas de estudio concéntricas establecidas en todo el día (00:00 – 24:00).

Horario	Variación en la intensidad de tráfico media anual (2018 a 2019)
Día (00:00 -24:00)	-2,10%
Mañana (7:00 - 19:00)	-2,15%
Tarde (19:00 - 23:00)	-2,07%
Noche (23:00 - 7:00)	-0,54%

Tabla 2 – Variación de la intensidad de tráfico media anual entre 2018 y 2019 en las cuatro franjas horarias establecidas en toda la zona de estudio.

3.1.1 Diferencias espaciales 2018 - 2019

Las tres zonas establecidas para el análisis de la intensidad de tráfico muestran una tendencia en los valores a lo largo del año 2018 y 2019, dándose los mayores datos de intensidad de tráfico en ambos años el Área 2, seguidos del Área 1 y significativamente más bajos en el Área 0 (Figura 3).

Las disminuciones las diferencias observadas en las medias anuales (Tabla 1) se mantienen al valorarlas de manera mensual, observándose mayores disminuciones en el Área 0 y luego en el Área 1 y el Área 2, las cuales tienen un comportamiento más parecido a lo largo del año. La variación de la intensidad en diciembre es superior en el Área 2 respecto al Área 1, lo cual rompe la tendencia general observa en el resto del año.

Al analizarlo de forma mensual y por zonas concéntricas (Figura 3), se aprecia que solo el Área 0 presenta una disminución de la intensidad de tráfico en el mes de marzo y sin embargo en el mes de julio solo en el Área 0 se produce un aumento del tráfico entre 2018 y 2019.

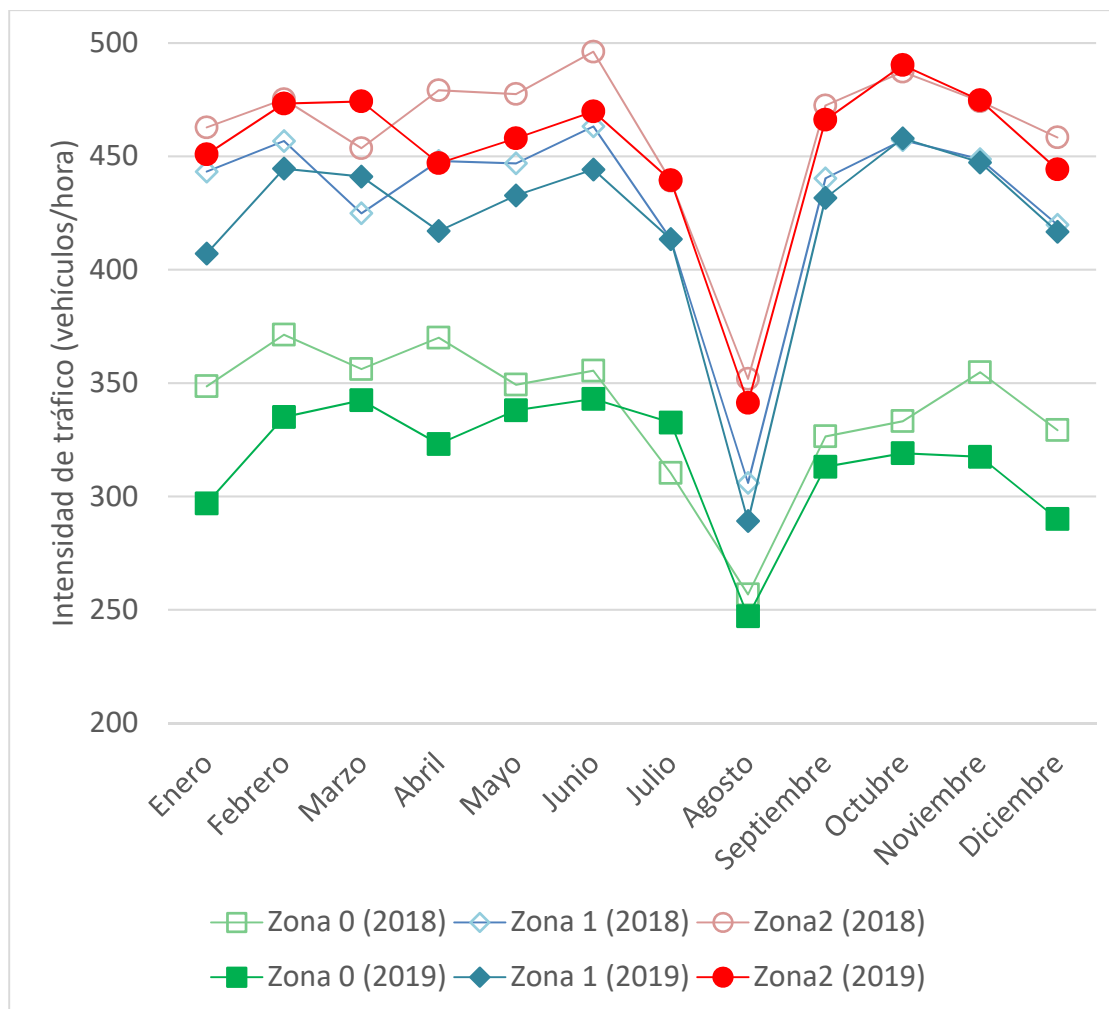


Fig. 3 – Comparación de la evolución de la intensidad de tráfico mensual media en los años 2018 y 2019, durante todo el día (00:00 – 24:00) en las tres áreas de estudio delimitadas (Área 0, Área 1 y Área 2) en Madrid

3.1.2 Diferencias temporales

La intensidad de tráfico tiene una fuerte componente estacional en el tiempo. A lo largo del año se observa un patrón que varía de forma proporcional a lo largo de los meses, ya que en verano disminuye drásticamente la intensidad de tráfico en comparación con el resto de meses tanto en 2018 como en 2019 (Figuras 3 y 4).

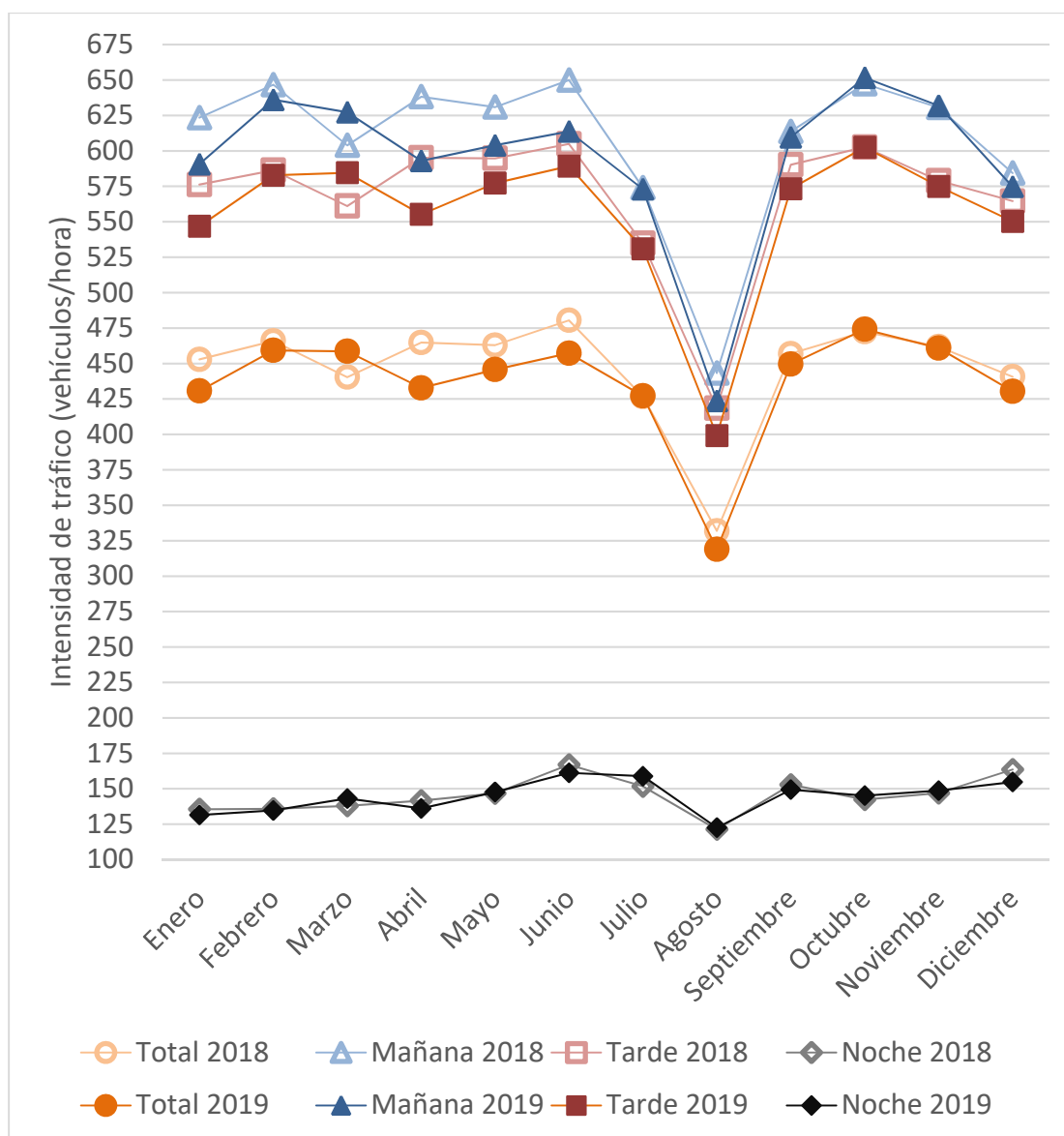


Fig. 4 –Comparación de la evolución de la intensidad de tráfico mensual media en los años 2018 y 2019, durante todo el día (00:00 – 24:00) y en horario de mañana (7:00 – 19:00), tarde (19:00 – 23:00) y noche (23:00 – 7:00), en la zona de estudio

Comparando la intensidad de tráfico media de manera mensual en la franja horaria de día (00:00 – 24:00) entre 2018 y 2019 se matiza la disminución en la intensidad de tráfico, ya que no todos los meses disminuye de manera homogénea (Figura 4). Los meses con una mayor disminución de intensidad son abril, mayo y junio. En el resto de meses, se aprecia una también una disminución en la intensidad de tráfico, aunque menor, y en el caso de marzo llega a aumentar la intensidad de tráfico de 2019 a 2018.

Comparando las diferentes franjas horarias se observa también que cada periodo sigue una tendencia propia, teniendo el periodo de noche significativamente menos intensidad de tráfico que las franjas de por la mañana y por la tarde tanto en 2018 como en 2019 (Figura 4).

Las franjas horarias de la mañana y la tarde, al acumular la mayor parte del tráfico siguen una distribución similar a lo largo del año en el impacto de la medida, mientras que en la franja horaria de la noche las diferencias son menores y, aparte de haber un aumento en la intensidad de tráfico en marzo, también se produce un aumento del tráfico en julio, octubre y noviembre.

3.2 Análisis socioeconómico 2018 -2019

Los datos de población y renta media mensual no han mostrado que tengan correlación con las disminuciones observadas en los diferentes distritos de Madrid estudiados (Figuras 5 y 6). Distritos con rentas anuales bajas, presentan resultados muy diferentes: Villaverde (-7,46%; 26.599 €); Puente de Vallecas (+0,36%; 24.688€). En los distritos con mayor población también aparecen resultados dispares: Puente de Vallecas (-0,36%; 246.021 hab.); Latina (-6,67%; 238.154 hab.).

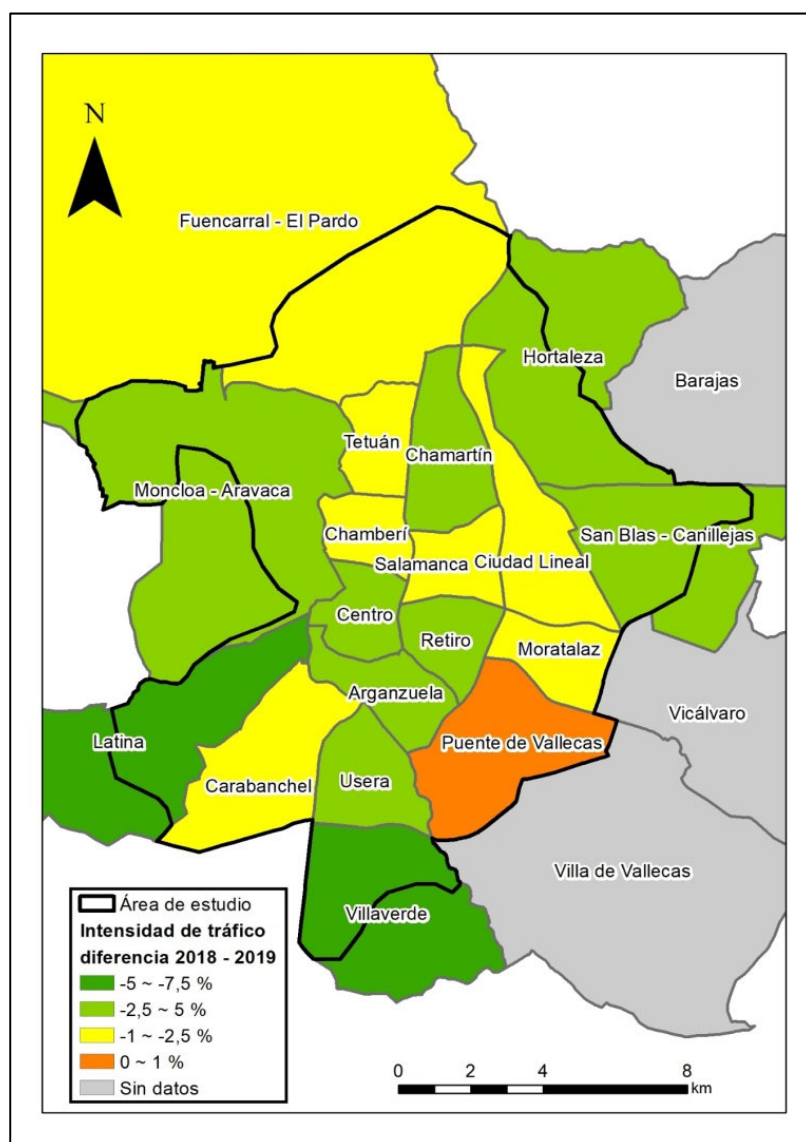


Fig. 5 – Variación porcentual de la intensidad de tráfico en los distritos de Madrid entre 2018 y 2019

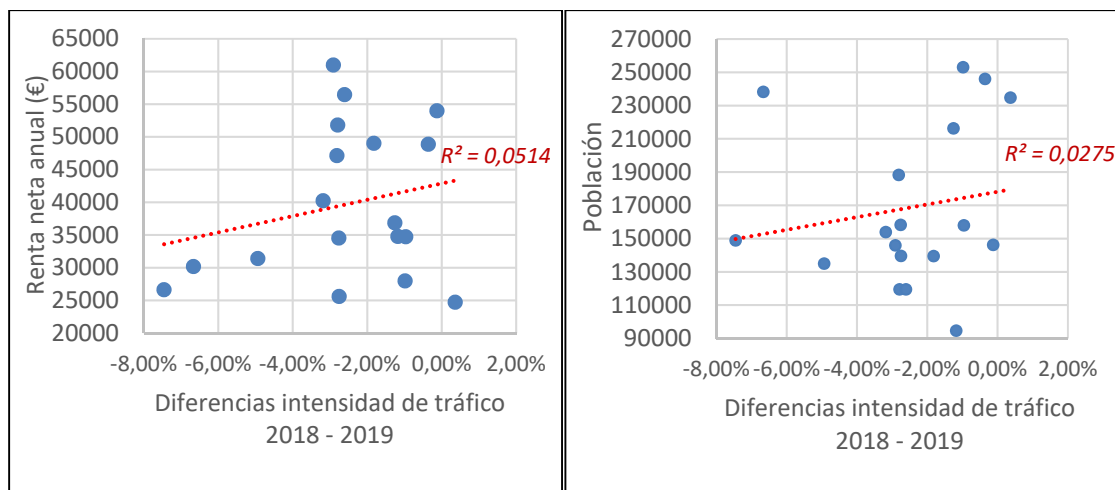


Fig. 6 – Correlación por distritos sobre los datos socioeconómicos (Población y Renta anual media) con la variación de intensidad de tráfico media mensual observada entre 2018 y 2019

4. DISCUSIÓN

El análisis del impacto de la medida de la zona de cero emisiones de Madrid Central es complejo y existen múltiples interpretaciones de los resultados. Por un lado, clasificando temporalmente los resultados, el impacto de la medida en los meses de verano, así como en el periodo nocturno es mucho menor, posiblemente al tratarse de periodos en los que la intensidad de tráfico es más baja y los viajes sobre los que se aplican las restricciones seguramente sean porcentualmente menores. Mientras que el impacto en el horario de mañana y tarde cuando se producen los mayores niveles de tráfico es mayor.

Es importante señalar que, aunque la implantación del Madrid Central se realizó a finales de noviembre de 2018, las sanciones no comenzaron hasta marzo de 2019 y se estableció un periodo cautelar, por lo que puede haber un sesgo en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Este efecto posiblemente limite el impacto de la medida, y por tanto es posible que comparando con el siguiente año disminuya más la intensidad de tráfico y podría explicar la anomalía encontrada en el mes de marzo, donde se produce un aumento en la intensidad de tráfico entre 2018 y 2019. También se produjo un acuerdo que supuso la suspensión temporal durante una semana a principios del mes de julio de 2019 (Ayuntamiento de Madrid, 2019b) que posteriormente fue anulada por sentencia judicial (Ayuntamiento de Madrid, 2019c), lo cual podría también explicar porque se presenta una anomalía en el mes de julio en el Área 0, donde a diferencia de las otras áreas se produce un aumento del tráfico entre 2018 y 2019.

Por otro lado, clasificando espacialmente los resultados, no existe un impacto homogéneo en todas las zonas de la ciudad. Se observan distritos como Villaverde, donde la medida llega a reducir un 7,46% la intensidad de tráfico, y otros como Puente de Vallecas donde aumenta un 0,36%.

Los resultados parecen indicar que los distritos ubicados en las entradas sur y oeste a Madrid son los que presentan una mayor reducción del tráfico y podrían ser las vías de entrada más afectas por la medida (Figura 5).

La ubicación de las estaciones de medida del tráfico del Ayuntamiento no es homogénea, en dos aspectos: están sobrerrepresentadas las calles con un mayor ancho de calle y la densidad de estaciones por distrito no es homogénea. Esta distribución de las estaciones excluye las calles con menor tráfico, siendo necesario matizar que las disminuciones observadas están referidas a calles principales que son donde se acumula el mayor tráfico.

A diferencia del enfoque centrado en las estaciones de medición de contaminación de la ciudad de Madrid (Salas et al. 2021; Izquierdo et al., 2020), existe un mayor número de estaciones de medida del tráfico, y esto ha permitido un análisis espacial más detallado del impacto de la medida. Al analizar directamente los datos de contaminación, la influencia meteorológica puede sesgar los datos (Katsoulis, 1996; Buchhoolz et al., 2010; Grundström et al., 2015; Laña et al., 2016; Chen et al., 2017), por lo que un análisis desde diferentes perspectivas ayuda a unos resultados más precisos.

En el análisis de la intensidad de tráfico no se ha tenido en cuenta la evolución del parque automovilístico de la ciudad, el cual se renueva año a año. Los vehículos más modernos presentan mejoras para disminuir sus emisiones contaminantes, especialmente los vehículos eléctricos e híbridos, que no tienen restricciones de acceso a la zona de cero emisiones. En relación a la intensidad de tráfico, Santiago et al. (2021) señalan que el aumento en la economía genera un aumento en el tráfico de la ciudad, por lo que los resultados observados en la disminución de la intensidad de tráfico pueden haberse visto minimizados al existir una tendencia creciente en la economía de la ciudad en este periodo.

Al igual que se ha relacionado la disminución del tráfico con beneficios a la contaminación, es posible que también haya asociado un impacto negativo a la economía de la ciudad. En el futuro es posible que el efecto de la medida se estabilice y no siga reduciendo el tráfico de la ciudad, aunque es posible que en los próximos años se produzcan efectos inducidos en la reducción del tráfico, ya que reducir la intensidad de tráfico, favorece el uso de transporte público como el autobús, al reducir los tiempos en los trayectos (Higgins et al., 2018), y esto a su vez, favorece la disminución del tráfico.

Basándonos en la información disponible en el Ayuntamiento de Madrid, se podría ampliar el horizonte temporal hasta 2013, ya que se disponen de datos de intensidad de tráfico e incluir los años 2020 y 2021 en el análisis, esto ayudaría a precisar mejor los resultados al distinguir mejor el efecto de la medida respecto a una tendencia general, y también podrían utilizarse otros indicadores del tráfico como la carga y la ocupación para poder relacionar mejor el tráfico con la contaminación.

Por último, en nuevos estudios, sería interesante combinar la evolución del tráfico con trabajos como el realizado por Cárcel-Carrasco et al. (2021), que analizan el impacto en la contaminación de las restricciones a la movilidad en el conjunto de la ciudad, derivadas de la pandemia del COVID-19.

5. CONCLUSIONES

El impacto del Madrid Central ha sido disuasorio para el tráfico de la ciudad, existe una disminución en el uso del vehículo privado como medio de transporte de forma general en toda la ciudad. Este resultado es compatible con trabajos anteriores que han detectado niveles inferiores en la contaminación atmosférica de la ciudad.

Se observan principalmente dos tendencias en la distribución del impacto de la medida: las zonas más próximas al área de Madrid Central son las más beneficiadas por la medida, llegando a una disminución del tráfico del -6,95% dentro del área con restricciones; y los ejes de entrada oeste y sur a Madrid han sido las más beneficiadas.

No existe una tendencia general que indique que la medida no afecta más a las zonas de mayor población o con una situación económica más frágil. Aunque el distrito de Puente de Vallecas (2º en población y último en renta anual media) presenta un aumento de la intensidad de tráfico.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio está enmarcado en el proyecto DESPACIO” (TRA2017-88058-R), financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España en el "Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad". Los autores también quieren agradecer al Ayuntamiento de Madrid por la información del tráfico proporcionado.

REFERENCIAS

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2007). Estrategia local de calidad del aire de la ciudad de Madrid 2006 – 2010. Madrid

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2017). Plan A: Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Ciudad de Madrid. Madrid

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2019). Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360. Madrid.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2019). Acuerdo de 27 de junio de 2019, de la Junta de Gobierno de la Ciudad de Madrid, por el que se acuerda, previa avocación de competencias, establecer un período de aviso en relación con el acceso a la zona de bajas emisiones Madrid Central. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2019). Decreto número 316 de 7 de julio de 2019, del delegado del Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2020). Portal Web del Ayuntamiento de Madrid. <https://www.madrid.es/portal/site/munimadrid>

BUCHHOOLZ, S.; JUNK, J., KREIN, A., HEINEMANN, G. y HOFFMANN, L. (2010). Air pollution characteristics associated with mesoscale atmospheric patterns in northwest continental Europe. *Atmos. Environ* 44, pp. 5183–5190.

CARCEL-CARRARCO, J.; PASCUAL-GUILLAMÓN, M. y SALAS-VICENTE, F. (2021). Analysis on the Effect of the Mobility of Combustion Vehicles in the Environment of Cities and the Improvement in Air Pollution in Europe: A Vision for the Awareness of Citizens and Policy Makers. *Land, MDPI, Open Access Journal* 10(2), pp. 1-16.

CHEN, Z.; LIU, C.; WENQING, L.; ZHANG, T. y XU, J. (2017). A synchronous observation of enhanced aerosol and NO₂ over Beijing, China, in winter 2015. *Sci. Total Environ.* 575, pp. 429–436.

CHIUSOLO, M.; CADUM, E.; STAFOGGIA, M.; GALASSI, C.; BERTI, G.; FAUSTINIA, A.; BISANTI, L.; VIGOTTI, M. A.; DESSI, P. M.; CERNIGLIARO, A.; MALLONE, S.; PACELLO, B.; MINERBA, S.; SIMONATO, L. y FORASTIERE, F. (2011). Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality and susceptibility factors in 10 Italian cities: The EpiAir study. *Environ. Health Perspect.* 119, pp. 1233–1238.

GAKIDOU, E.; AFSHIN, A.; ABAJOBIR, A. A.; ET AL (2017). Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study. *Global Health Metrics* 390, pp. 1345–1422.

GRUNDSTRÖM, M.; HAK, C., CHEN, D.; HALLQUIST, M. y PLEIJELET, H. (2015). Variation and co-variation of PM₁₀, particle number concentration, NO_x and NO₂ in the urban air-relationships with wind speed, vertical temperature gradient and weather type. *Atmos. Environ.* 120, pp. 317–327.

GUTIÉRREZ, J. y GARCÍA J. C. (2005). Cambios en la movilidad en el área metropolitana de Madrid: el creciente uso del transporte privado. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 25

HIGGINS, C. D.; SWEET, M. N. y KANAROGLU, P. S. (2018). All minutes are not equal: travel time and the effects of congestion on commute satisfaction in Canadian cities. *Transp. (Amst)* 45, pp. 1249–1268.

IZQUIERDO, R.; GARCÍA, D. S.; BORGE, R.; DE LA PAZ, D.; SARIGIANNIS, D.; GOTTI, A. y BOLDO, E. (2020). Health impact assessment by the implementation of Madrid City air-quality plan in 2020. *Environmental Research* 183

KATSOULIS, B. D. (1996). The relationship between synoptic, mesoscale and microscale meteorological parameters during poor air quality events in Athens, Greece. *Sci. Total Environ* 181, pp. 13–24.

LAÑA, I.; DEL SER, J.; PADRÓ, A.; VELÉZ, M. y CASANOVA-MATEO, C. (2016). The role of local urban traffic and meteorological conditions in air pollution: A data-based case study in Madrid, Spain. *Atmospheric Environment* 145, pp. 424 - 438

MARSHALL, W. E. y DUMBAUGH, E. (2020). Revisiting the relationship between traffic congestion and the economy: a longitudinal examination of U.S. metropolitan areas. *Transp. (Amst)* 47, pp. 275–314.

MEDINA-RAMÓN, M.; ZANOBBETTI, A. y SCHWARTZ, J. (2006). The effect of ozone and PM10 on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease: a national multicity study. *Am J Epidemiol* 163(6), pp. 579-88.

MONZÓN, A.; MORAGUES, A. y ACHA, C. (1999). Seasonal analysis of air pollution levels in Madrid. *Sci Total Environ* 235 (1-3) pp. 343-5.

MOYANO, A.; STEPNIAL, M.; MOYA-GÓMEZ, B. y GARCÍA-PALOMARES, J. C. (2021). Traffic congestion and economic context: changes of spatiotemporal patterns of traffic travel times during crisis and post-crisis periods. *Transportation*.

SANTIAGO, J. L.; BORGE, R.; SÁNCHEZ, B.; QUAASSDORFF, C.; DE LA PAZ, D.; MARTILLI, A.; RIVAS, E. y MARTÍN, F. (2021). Estimates of pedestrian exposure to atmospheric pollution using high-resolution modelling in a real traffic hot-spot. *Science of The Total Environment* 755, Part 1.

SANTURTÚN, A.; SÁNCHEZ-LORENZO, A.; VILLAR, A.; RIANCHO, J. A. y ZARRABEITIA, M. T. (2017). The influence of nitrogen dioxide on arrhythmias in Spain and its relationship with atmospheric circulation. *Cardiovasc Toxicol* 17 (1), pp. 88–96.

SALAS, R.; VILLADÓNIGA, M.; PRIETO-RODRIGUEZ, J. y RUSSO, A. (2021). Were traffic restrictions in Madrid effective at reducing NO2 levels? *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 91

VIANA, M.; DE LEEUW, F.; BARTONOVA, A.; CASTELL, N., OZTURK, E. y ORTIZ, A. G. (2020). Air quality mitigation in European cities: Status and challenges ahead. *Environment International* 143.

VIDAL, M. J. (1990). Aproximación metodológica para el análisis de la influencia del tráfico en la ciudad: la zona del Retiro (Madrid). *Estudios geográficos* 51.199, pp.635 - 648.

VINEIS, P.; HOEK, G.; KRZYZANOWSKI, M.; VIGNA-TAGLIANTI, F.; VEGLIA, F.; AIROLDI, L.; AUTRUP, H.; DUNNING, A.; GARTSE, S.; HAINAUT, P.; MALAVEILLE, C.; MATULLO, G.; OVERVAD, K.; RAASCHOU-NIELSEN, O.; CLAVEL-CHAPELON, F.; LENSEISEN, J.; BOEING, H.; TRICHOPOULOU, A.; PALLI, D.; PELUSO, M.; KROGH, V.; TUMINO, R.; PANICO, S.; BUENO-DE-MESQUITA, H. B.; PEETERS, P. H.; LUND, E. E.; GONZÁLEZ, C. A.; MARTÍNEZ, C.; DORRONSORO, M.; BARRICARTE, A.; CIRERA, L.; QUIROS, J. R.; BERGLUND, G. FORSBERG, B., DAY, N. E.; KEY, T. J.; SARACCI, R.; KAAKS, R. y RIBOLI, E. (2006) Air pollution and risk of lung cancer in a prospective study in Europe. *Int. J. Cancer* 119 (1), pp. 169–174.