

4. ANÁLISIS DE IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LAS POLÍTICAS MUNICIPALES

Grupo movilidad segura y sostenible
Comisión de MOVILIDAD

Septiembre 2021

Índice

1. Introducción	3
2. Fuentes de información y datos	5
2.1. Encuesta a ayuntamientos.....	6
2.2. Calidad del aire en las ciudades.....	8
2.3. Variables exógenas	9
3. Evolución de la calidad del aire en ayuntamientos de la muestra	10
4. Análisis del impacto de las políticas municipales en la calidad del aire de las ciudades .	14
4.1. Conjunto de datos	14
4.2. Metodología	17
4.3. Resultados	20
4.3.1. Variables explicativas exógenas	23
4.3.2. Variables explicativas sobre las medidas municipales aplicadas	25
5. Conclusiones.....	35

1. INTRODUCCIÓN

La población española se situó en 47,3 millones de habitantes al cierre de 2019, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), creciendo un 0,84% respecto al dato registrado un año antes. De acuerdo con las proyecciones de población elaboradas por el mismo organismo, en los 15 próximos años España ganaría casi 1 millón de habitantes y más de 3 millones hasta 2070.

En paralelo a la tendencia demográfica apuntada, se viene apreciando desde hace ya algunos años un **incremento de la concentración de la población en ciudades, en detrimento del mundo rural**. Más concretamente, según un estudio elaborado por el Banco de España¹, en 2018 el crecimiento de la población urbana se había incrementado más de un 20% acumulado respecto al año 1997, teniendo en cuenta que la aportación del crecimiento vegetativo a ese aumento fue únicamente de 5 puntos porcentuales. Esto quiere decir que el resto del crecimiento demográfico de las zonas urbanas ha venido determinado por las migraciones (tanto internas, como del exterior). Por el contrario, durante el mismo periodo analizado, la población rural se redujo cerca de un 5% acumulado.

Como resultado de estos movimientos poblacionales, las ciudades españolas han ido ganando población a un ritmo superior al del resto de núcleos urbanos. Sirva a modo de ejemplo cómo, en los últimos 6 años, la población de Madrid se incrementó casi un 1% de media anual (0,88%), mientras que la de Barcelona aumentó un 0,64% y en ciudades como Valencia o Bilbao el incremento fue de un 0,29% y un 0,18% de media anual, respectivamente.

No obstante, se aprecia una evolución desigual entre ciudades. **Este proceso de crecimiento se ha acelerado en las grandes ciudades** como Madrid o Barcelona. De acuerdo con los datos del INE, la población de Madrid se incrementó un 1,27% en 2017, un 1,33% en 2018 y un 2,10% en 2019, mientras que, en Barcelona, tras un leve descenso de la población censada en el municipio durante el año 2017 (-0,03%), en 2018 el crecimiento fue del 1,01% y en 2019 del 1,68%. En 2019, la tasa de crecimiento de la población censada en ambas ciudades superó a la del conjunto del país (0,84%).

¹ Banco de España (2020), *Tendencias Recientes de la Población en las Áreas Rurales y Urbanas de España*. Documentos Ocasionales. Nº 2027.

Por el contrario, el crecimiento demográfico de la ciudad de Valencia durante los 3 últimos años para los que hay datos disponibles fue del 0,46% en 2017, 0,36% en 2018 y 0,75% en 2019, mientras que el de Bilbao fue del 0,21%, 0,30% y 0,96%, respectivamente. En 2019, el crecimiento de la población de ambas se situó en torno a la media del conjunto del país (0,84%).

Este movimiento hacia la concentración de la población en las grandes ciudades es un fenómeno que se viene dando a nivel mundial. Según un informe de la ONU², **el 68% de la población del mundo vivirá en ciudades en 2050**. Esta cifra ya se queda corta en Europa, donde el 74% de la población ya está instalada en ciudades.

Como es lógico, la concentración de la población en el entorno urbano trae consigo retos para la mejora del bienestar de los ciudadanos. La reducción del ruido soportado, la mejora de la calidad del aire o facilitar la movilidad de la población dentro del núcleo urbano, son objetivos irrenunciables en los órganos de gobierno de las grandes ciudades.

En este sentido, el transporte por carretera y su organización dentro de la ciudad es uno de los elementos que en mayor medida afecta al bienestar de la población. Es generador de ruido, tiene importantes consecuencias en la calidad del aire que se respira en las ciudades y es una pieza clave en lo que respecta a la movilidad urbana, por poner como ejemplo los objetivos planteados anteriormente, considerados como irrenunciables para los gobiernos municipales.

Sin embargo, resulta evidente que el transporte es un vector dinamizador del crecimiento y diversificación de la actividad económica de las ciudades, a pesar de su coste social en términos medioambientales.

Bajo esta perspectiva, el desarrollo de cualquier esquema de movilidad debe ser afrontado desde una perspectiva integral que busque el equilibrio entre las necesidades ambientales (calidad del aire, emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación acústica), las necesidades sociales (accesibilidad, habitabilidad y seguridad) y las necesidades económicas (competitividad).

De acuerdo con el contexto descrito, **este trabajo tiene como objetivo orientar sobre el posible impacto medioambiental de las normativas municipales relacionadas con la movilidad y calidad del aire, principalmente, sobre la calidad del aire efectiva de las ciudades, teniendo en cuenta**

² ONU (2018), [Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo | ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales](#)

que este último factor tiene una importancia fundamental en el bienestar de los habitantes de la ciudad.

Más específicamente, en este estudio se lleva a cabo un análisis sobre los posibles efectos que las distintas medidas y normativas municipales aprobadas por las corporaciones locales en materia de movilidad y mejora de la calidad del aire, han tenido en las cantidades medidas de ciertos componentes contaminantes.

Para ello, por un lado, se han identificado aquellas partículas contaminantes que determinan de alguna forma la calidad del aire y para las que ha sido posible disponer de información con la periodicidad y estructura necesaria. Por otro lado, se ha lanzado una encuesta a ayuntamientos españoles con la que recabar información sobre la puesta en marcha de normativas municipales y medidas relacionadas con los ámbitos de interés para el estudio.

En el apartado siguiente se detallan las fuentes de información a las que se ha acudido para recabar los datos necesarios y se describen las distintas variables utilizadas.

En el punto 3 se lleva a cabo una descripción sobre la evolución de las distintas variables de interés durante el periodo histórico considerado.

El apartado 4 describe brevemente la metodología utilizada para llevar a cabo el análisis de impacto y se presentan los resultados obtenidos.

Finalmente, en el punto 5 del presente documento se detallan las principales conclusiones.

2. FUENTES DE INFORMACIÓN Y DATOS

Como se ha introducido en el apartado anterior, este estudio pretende estimar el impacto medioambiental que podrían tener distintas medidas y normativas municipales relacionadas con la movilidad y la mejora de la calidad del aire, en particular, sobre la propia calidad del aire de las ciudades.

Para ello se han utilizado datos sobre la cantidad de partículas contaminantes que están presentes en el aire de las urbes y se ha recabado información de ayuntamientos seleccionados sobre las medidas o normativas municipales relacionadas con este tema.

Asimismo, también ha sido necesario recopilar otro tipo de información de interés para el análisis. Existen otras variables que no tienen relación con las políticas implementadas por las corporaciones municipales, que también podrían ejercer influencia en la calidad del aire de las ciudades.

2.1. Encuesta a ayuntamientos

Dado el objetivo del estudio, una parte fundamental de éste se basa en conocer qué **medidas / normativas se han venido implementando en los municipios**, relacionadas con la movilidad de los ciudadanos y la calidad del aire, y cuándo se pusieron en marcha.

Para recabar esa información se elaboró un cuestionario ad-hoc que se hizo llegar a una muestra de ayuntamientos distribuidos por todo el territorio nacional.

Este **cuestionario se dividió en 6 bloques**, cada uno de los cuales consultaba sobre normativa relacionada con un aspecto de la movilidad urbana y la calidad del aire, y sobre medidas puestas en marcha en estos ámbitos.

A continuación, se detallan los distintos bloques en los que se dividían las preguntas del cuestionario:

- **Estacionamiento en el municipio**
- **Emisiones contaminantes y calidad del aire**
- **Movilidad urbana propiamente dicha**
- **Fiscalidad y precios de acceso**
- **Infraestructura de recarga**
- **Peatonalización.**

En el seno del Grupo de Trabajo sobre Movilidad Segura y Sostenible, perteneciente a la Comisión de Movilidad de la Cámara de Comercio de España, se estableció una selección de ayuntamientos a los que enviar el cuestionario de acuerdo con varios criterios: mantener cierto equilibrio geográfico en la muestra, dimensión de las ciudades, y existencia de planes de movilidad.

Es importante resaltar, por tanto, que no se trata de una muestra de municipios seleccionada aleatoriamente, cuestión relevante de cara a la interpretación de los resultados obtenidos (los cuales se refieren exclusivamente a la muestra utilizada, no al conjunto de ciudades españolas).

Una vez seleccionados los ayuntamientos de interés, se procedió a lanzar la encuesta. El trabajo de campo se desarrolló entre los meses de agosto y octubre de 2020.

Inicialmente, la muestra obtenida la formaban 17 ayuntamientos, desde donde se respondió, al menos, a uno de los bloques en los que se dividía el cuestionario. No obstante, tras llevar a cabo las habituales tareas de depuración asociadas a encuestas de este tipo, se excluyeron del análisis las respuestas de 3 ayuntamientos debido a las carencias de información encontradas.

Finalmente, **la muestra está compuesta por 14 ayuntamientos**, si bien no todos respondieron a la totalidad de bloques del cuestionario. Desde algunos de ellos solo se respondió a uno de los bloques. Estos son los ayuntamientos que componen la muestra:

- Badajoz
- Barcelona
- Bilbao
- La Coruña
- Gijón
- Madrid
- Las Palmas de Gran Canaria
- Pamplona
- Sevilla
- Toledo
- Valencia
- Valladolid
- Vitoria
- Zaragoza

En función de los bloques en los que se dividía el cuestionario, a continuación, se desgana el número de ayuntamientos que respondió las preguntas en cada uno:

- Estacionamiento en el municipio: 14 ayuntamientos
- Emisiones contaminantes y calidad del aire: 10 ayuntamientos

- Movilidad urbana propiamente dicha: 11 ayuntamientos
- Fiscalidad y precios de acceso: 11 ayuntamientos
- Infraestructura de recarga: 13 ayuntamientos
- Peatonalización: 10 ayuntamientos

2.2. Calidad del aire en las ciudades

Disponer de algún tipo de información sobre la calidad del aire en las ciudades que componen la muestra es esencial para el desarrollo del estudio. Se trata de la variable sobre la que medir el impacto de las medidas / normativas municipales relacionadas con este tema.

Para recabar esta información, el primer paso fue determinar los contaminantes de interés. En general, el aire que se respira está compuesto por distintas partículas, muchas de las cuales no son representativas de su calidad y para otras tantas no hay disponibilidad de datos de acuerdo con los objetivos de este trabajo.

Gracias al asesoramiento de expertos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, pertenecientes a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, se eligieron las partículas contaminantes de mayor interés potencial para el análisis a desarrollar. Además, desde la propia Dirección General se facilitó una base de datos con información sobre la presencia de estos contaminantes en el aire de las ciudades, atendiendo a la solicitud realizada previamente desde la Cámara de España.

Más concretamente, se proporcionó información sobre 3 tipos de **partículas que afectan a la calidad del aire:**

- **Monóxido de carbono, CO, medido en miligramos por metro cúbico (mg/ m3)**
- **Dióxido de nitrógeno, NO2, medido en microgramos por metro cúbico (µg/ m3)**
- **Partículas inferiores a 10 micras, PM10, medidas en microgramos por metro cúbico (µg/ m3).**

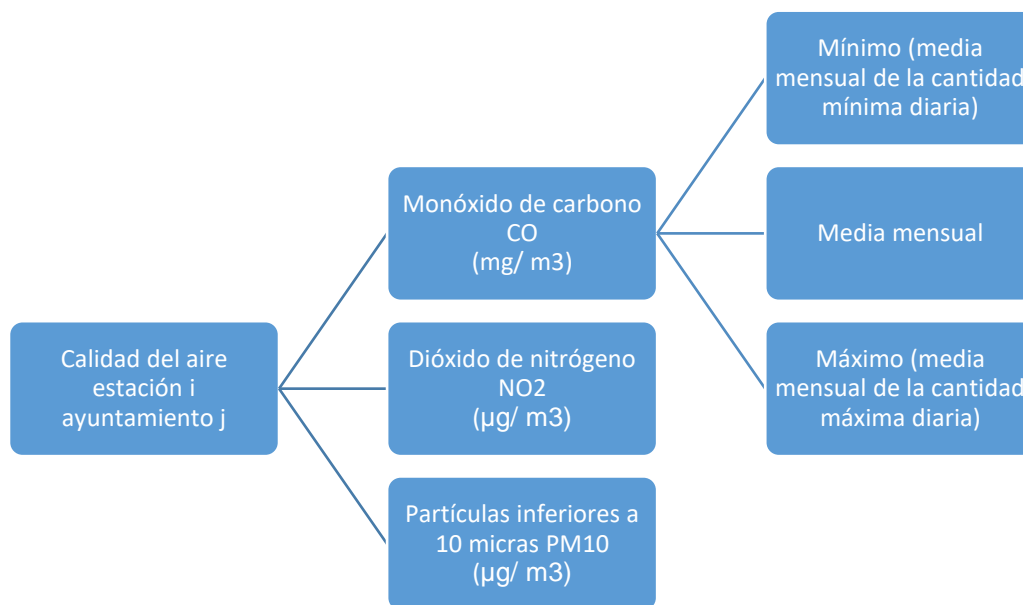
Para cada uno de los contaminantes detallados, desde la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental se facilitaron datos sobre las mediciones realizadas por las 86 estaciones ambientales que miden la calidad del aire en los 14 municipios que componen la muestra.

Se trata de mediciones mensuales cuya serie histórica comienza en enero de 2004 y finaliza en diciembre de 2019.

Además, se aportaron series históricas para tres clases de datos dentro de cada tipo de partículas:

- Media mensual de la cantidad mínima diaria de partículas
- Media mensual de la cantidad diaria de partículas
- Media mensual de la cantidad máxima diaria de partículas

Ilustración 1. Información utilizada sobre la calidad del aire en los ayuntamientos



Fuente: Elaboración propia.

2.3. Variables exógenas

Por último, para completar el análisis, ha sido necesario recabar información sobre otras variables que, en teoría, también podrían estar relacionadas con la calidad del aire de las ciudades. El objetivo es establecer un control para no atribuir su impacto sobre la calidad del aire a las medidas / normativas de los ayuntamientos, sesgando de esta forma los resultados que se pudieran obtener.

En este sentido, parece evidente que variables exógenas como **la temperatura, las precipitaciones o la actividad económica, podrían influir en la presencia de partículas contaminantes en el aire de las ciudades.**

Para recabar información sobre la evolución de estas variables durante el periodo considerado se ha acudido a fuentes oficiales. Éste es el detalle de las variables exógenas utilizadas, todas ellas extraídas para cada uno de los municipios que componen la muestra:

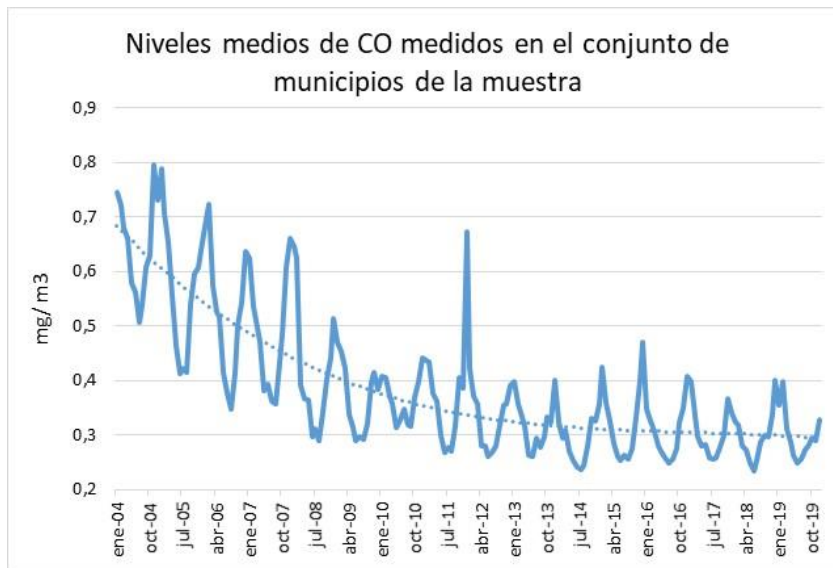
- Temperatura media mensual en grados centígrados (°). Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).
- Precipitaciones mensuales medidas en milímetros de agua (mm) o litros por metro cuadrado (l/ m²), teniendo en cuenta que 1 mm de agua = 1 l de agua por m². Fuente: AEMET.
- Tasa de variación interanual del paro registrado en la provincia a la que pertenece cada uno de los municipios de la muestra (% sobre la población activa). Se trata de una variable de control relacionada con la actividad económica del municipio, a falta de información más directa. Fuente: Servicio Público de Empleo Estatal (SEPE).

3. EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN AYUNTAMIENTOS DE LA MUESTRA

En general, **la cantidad de contaminantes presentes en el aire de las ciudades que componen la muestra marca una clara tendencia decreciente durante el periodo histórico considerado en este análisis (2004-2019).**

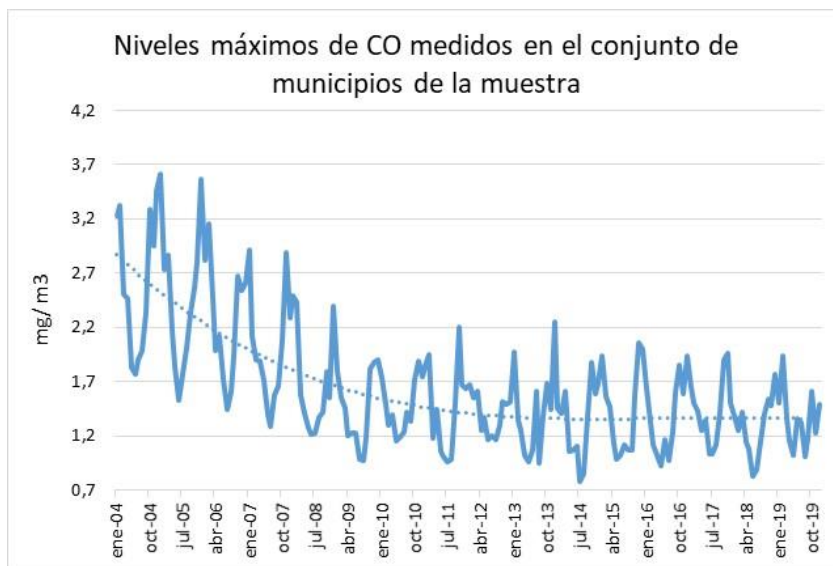
Como se puede apreciar en el Gráfico 1 y en el Gráfico 2, tanto los niveles medios como los niveles máximos de monóxido de carbono, CO, medidos en el conjunto de estaciones ambientales de los municipios de la muestra, se han venido reduciendo paulatinamente desde 2004.

Gráfico 1. Niveles medios de CO medidos en el conjunto de municipios de la muestra



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos aportados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

Gráfico 2. Niveles máximos de CO medidos en el conjunto de municipios de la muestra

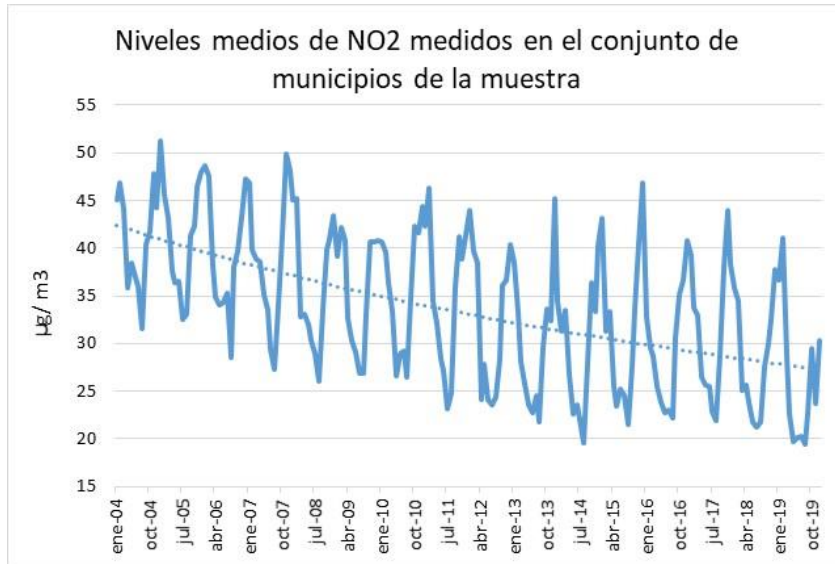


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos aportados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

La cantidad media de CO en el aire de las ciudades de la muestra se redujo casi un 54% en 2019 respecto a la registrada en 2004 (Gráfico 1), mientras que la cantidad de este componente contaminante, registrada en los periodos de máxima concentración, se redujo un 48% durante ese mismo periodo (Gráfico 2).

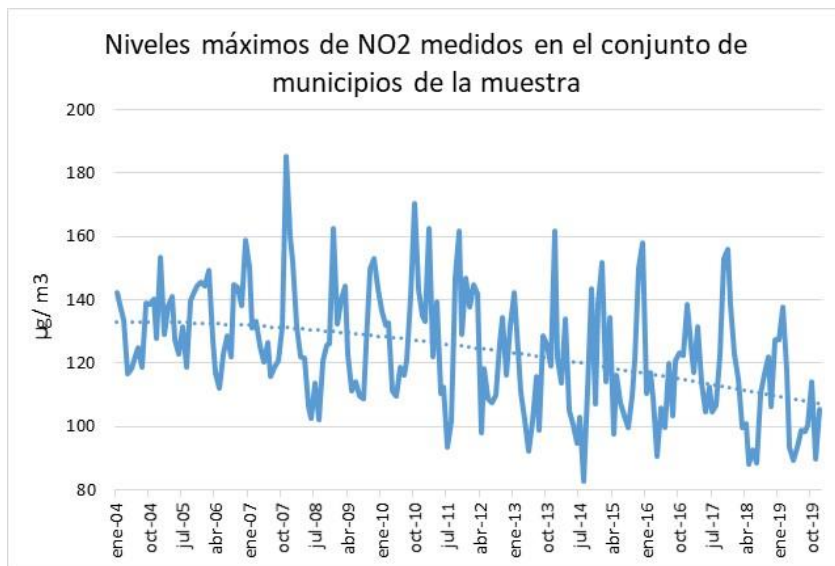
La misma situación puede observarse para los otros componentes contaminantes que se analizan en este estudio, dióxido de nitrógeno (NO₂) y partículas inferiores a 10 micras (PM₁₀).

Gráfico 3. Niveles medios de NO₂ medidos en el conjunto de municipios de la muestra



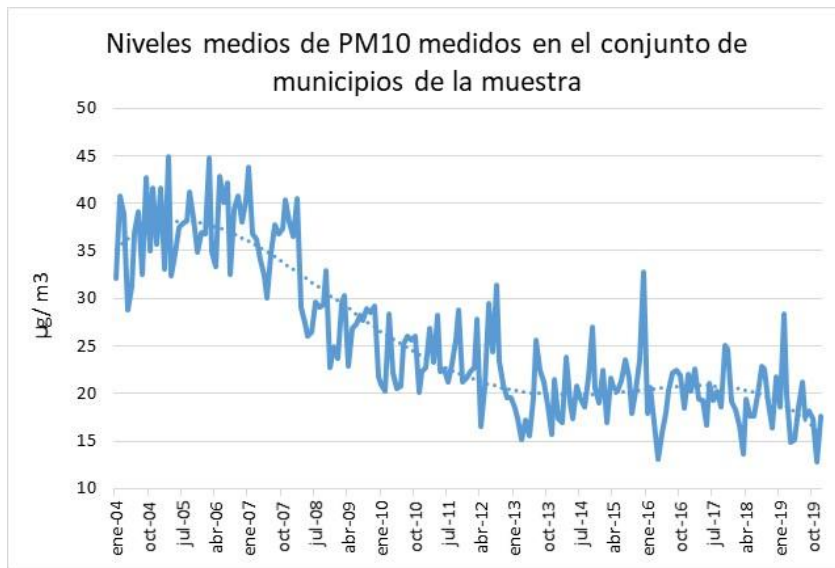
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos aportados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

Gráfico 4. Niveles máximos de NO₂ medidos en el conjunto de municipios de la muestra



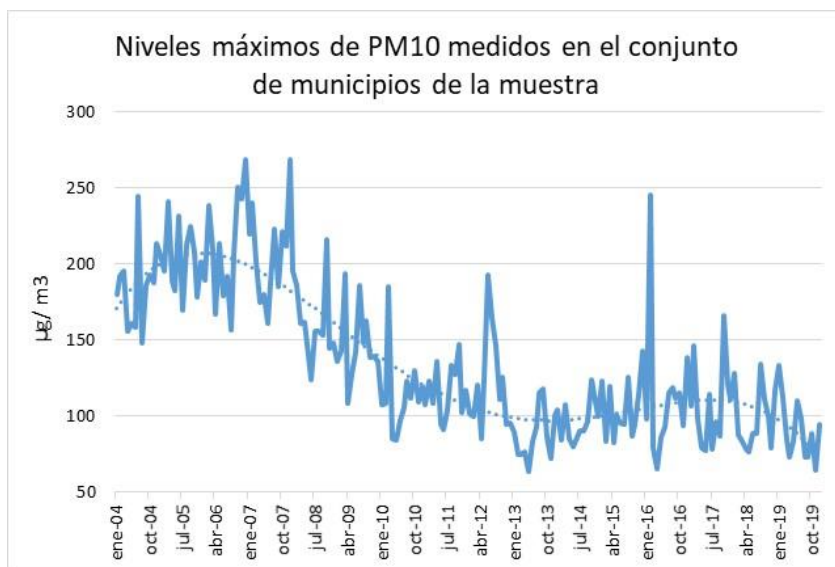
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos aportados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

Gráfico 5. Niveles medios de PM10 medidos en el conjunto de municipios de la muestra



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos aportados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

Gráfico 6. Niveles máximos de PM10 medidos en el conjunto de municipios de la muestra



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos aportados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

De acuerdo con los gráficos anteriores, la cantidad media de NO₂ en el aire de las ciudades de la muestra también experimentó una reducción durante el periodo 2004-2019, del 35,6% (Gráfico 3), aunque el recorte de las cantidades medidas en las horas de máxima concentración no fue tan intenso, 18,9% (Gráfico 4).

Por último, en cuanto a las partículas inferiores a 10 micras, PM10, el descenso en las cantidades medias durante el periodo considerado (Gráfico 5), en las ciudades de la muestra, fue del 49,5%, y el descenso de las cantidades máximas se situó en el 51% (Gráfico 6).

Por lo tanto, los datos confirman una **mejora de la calidad del aire en el conjunto de municipios que conforman la muestra**. Cabe preguntarse, qué parte de esta mejora podría deberse a las medidas o normativas sobre movilidad y calidad del aire implementadas por las distintas corporaciones municipales y qué parte de este descenso se debe a otras causas, como pueden ser la climatología, la actividad económica o el desarrollo de la tecnología en los vehículos. En este último caso, resulta evidente que el avance tecnológico de las nuevas motorizaciones de vehículos de combustión interna, en base a los distintos niveles de normativa Euro, y el surgimiento de vehículos híbridos y eléctricos, han traído consigo una reducción de las emisiones contaminantes y una mejora de la calidad del aire en las ciudades.

En este sentido, el análisis de datos que se ha desarrollado tiene como **objetivo tratar de aislar y medir el impacto que han podido tener las distintas políticas municipales en la reducción de las partículas contaminantes presentes en el aire de las ciudades, controlando al mismo tiempo el efecto que depende de otras variables exógenas**.

4. ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS POLÍTICAS MUNICIPALES EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LAS CIUDADES

4.1. Conjunto de datos

Para llevar a cabo el análisis del impacto sobre la calidad del aire de las ciudades derivado de las distintas regulaciones o medidas puestas en marcha por los ayuntamientos, relacionadas con la movilidad o con la sostenibilidad medioambiental, se requiere identificar si existe algún tipo de relación causal entre la calidad del aire y las medidas o normativas implementadas. Todo ello, teniendo en cuenta que hay otras variables que no tienen que ver con la política desarrollada por las corporaciones municipales, y que también pueden tener impacto en la calidad del aire.

A continuación, se detallan las variables con las que se cuenta para realizar el estudio, avanzadas ya en los apartados anteriores:

- **VARIABLES DEPENDIENTES, ENDÓGENAS O VARIABLES SOBRE LAS QUE SE MIDE EL IMPACTO.**
 - Monóxido de carbono, CO, medido en miligramos por metro cúbico (mg/ m³):
 1. *Media mensual del nivel de CO medido en cada una de las estaciones medioambientales de la muestra.*
 2. *Media mensual del nivel máximo de CO medido en cada una de las estaciones medioambientales de la muestra.*
 - Dióxido de nitrógeno, NO₂, medido en microgramos por metro cúbico (µg/ m³)
 3. *Media mensual del nivel de NO₂ medido en cada una de las estaciones medioambientales de la muestra.*
 4. *Media mensual del nivel máximo de NO₂ medido en cada una de las estaciones medioambientales de la muestra.*
 - Partículas inferiores a 10 micras, PM₁₀, medidas en microgramos por metro cúbico (µg/ m³)
 5. *Media mensual del nivel de PM₁₀ medido en cada una de las estaciones medioambientales de la muestra.*
 6. *Media mensual del nivel máximo de PM₁₀ medido en cada una de las estaciones medioambientales de la muestra.*

El objetivo es estimar el impacto de las políticas municipales, y del resto de variables del modelo, en cada una de las 6 variables descritas en este apartado.

Respecto a la media mensual del nivel mínimo de partículas referente a cada uno de los contaminantes señalados, CO, NO₂ y PM₁₀, se ha dejado fuera del análisis ya que, aunque este nivel mínimo también muestra caídas a lo largo del periodo histórico, la variabilidad no es tan amplia como en el caso de las otras dos medidas (media y máxima), dificultando la identificación de efectos causales.

- **VARIABLES EXPLICATIVAS EXÓGENAS.** Se trata de aquellas variables que podrían afectar a la evolución de la calidad del aire, y que son distintas a las políticas o normativas municipales.

7. *Temperatura media mensual en grados centígrados en cada uno de los ayuntamientos que conforman la muestra (9).*
 8. *Precipitaciones mensuales medidas en milímetros de agua (mm) o litros por metro cuadrado (l/ m2), en cada uno de los ayuntamientos de la muestra.*
 9. *Actividad. Tasa de variación interanual del paro registrado cada mes en la provincia a la que pertenece cada uno de los municipios de la muestra (%) (variable de control relacionada con la actividad económica).*
 10. *Tendencia temporal como aproximación para tratar de captar el efecto en la calidad del aire de otras variables exógenas distintas a las anteriores, pero de difícil obtención, relacionadas principalmente con el avance tecnológico (mejoras tecnológicas en los motores de combustión tradicional, aparición de vehículos híbridos y eléctricos, antigüedad del parque móvil, ...).*
- **VARIABLES EXPLICATIVAS DE AYUNTAMIENTOS (VARIABLES ESCALÓN).** Variables que toman valor 0 todos los meses previos a aquél en el que se identifica la puesta en marcha o aprobación de la medida / política propuesta. A partir de ese mes, la variable toma valor 1.
- Bloque medidas estacionamiento en el municipio:
 11. *Fecha en la que se habilitó, aproximadamente, el 50% del total de plazas de aparcamiento regulado existente en la actualidad en el municipio.*
 12. *Fecha en la que se habilitó, aproximadamente, el 50% de la red de aparcamientos disuasorios existente en la actualidad en el municipio.*
 - Bloque medidas sobre emisiones contaminantes y calidad del aire:
 13. *Fecha en la que se comenzó a aplicar el protocolo por elevada contaminación en el municipio.*
 14. *Fecha en la que entró en vigor la zona de bajas emisiones (información disponible solo para un ayuntamiento).*
 - Bloque medidas sobre movilidad urbana:
 15. *Fecha en la que se habilitó, aproximadamente, el 50% del total de la red de carriles bici existente en el municipio.*

16. Fecha en la que se habilitó, aproximadamente, el 50% del total de la red de carriles bus existente en el municipio.

17. Fecha en la que comenzó a implantarse el servicio de car-sharing y/o moto-sharing eléctrico en el municipio.

18. Fecha en la que comenzó a implantarse el servicio de bike-sharing y/o sharing de patinete eléctrico en el municipio.

- Bloque medidas sobre fiscalidad y precios de acceso:

19. Fecha desde la que se vienen aplicando bonificaciones en el impuesto de circulación, en los vehículos censados en el municipio.

- Bloque medidas sobre peatonalización:

20. Fecha en la que se peatonalizó, aproximadamente, el 50% del total de las zonas peatonales que existe en la actualidad en el municipio.

21. Fecha en la que comenzó a desarrollarse la actual política de peatonalización del municipio.

A modo de resumen, se dispone de un conjunto de datos con estructura de panel, sobre información mensual de 86 estaciones medioambientales, distribuidas por los 14 municipios de la muestra. Para cada una de estas estaciones existe información relativa a la cantidad de partículas contaminantes medidas (variable dependiente). Las variables explicativas (exógenas y escalón) están disponibles en el ámbito de cada municipio (no hay diferencias entre estaciones medioambientales situadas en el mismo municipio).

Como ya se ha mencionado, la serie histórica de información para cada una de las 21 variables descritas se extiende desde enero de 2004 a diciembre de 2019.

4.2. Metodología

Una vez estructurado el conjunto de datos, el objetivo del ejercicio es estimar el impacto de las políticas municipales relacionadas con la movilidad y calidad del aire en la cantidad de partículas contaminantes existentes en las ciudades, y determinar en qué medida estas políticas han tenido una influencia significativa en su disminución.

Para realizar este tipo de análisis es necesario identificar las relaciones causales existentes entre las denominadas variables explicativas (variables exógenas y variables escalón en nuestro conjunto de datos) y las variables dependientes (la diversas formas en las que se mide la calidad del aire de acuerdo con los datos disponibles), tratando, para ello, de aislar el efecto de cada una de esas variables explicativas. En esta tarea se utilizará un modelo econométrico de datos de panel. Esta metodología alberga la ventaja de que, además de estimar las relaciones causales mencionadas, permite tener en cuenta la denominada heterogeneidad inobservable.

Por heterogeneidad inobservable se entienden todas aquellas características de los individuos de la muestra que no son medidas por las variables del modelo y que, en general, no cambian a lo largo del tiempo (aunque también puede haber heterogeneidad inobservable asociada a la serie histórica, que en nuestro modelo no se incluye ya que quedaría recogida en la tendencia temporal utilizada como variable exógena). Teniendo en cuenta que los individuos de la muestra en este trabajo son estaciones de medición, la heterogeneidad inobservable incluiría distintas características particulares de las estaciones medioambientales: si están situadas en un parque, en un barrio concurrido, si pertenecen a un ayuntamiento con mucha población, si están situadas en una zona peatonal, si son más o menos modernas, Esta heterogeneidad inobservable también es estimada por el modelo, y permite eliminar posibles sesgos sobre las estimaciones resultantes, relacionados con otras variables explicativas que afectan a la calidad del aire, pero que, por desconocimiento o por imposibilidad de recopilar información con la estructura necesaria, no se incluyen en el modelo.

A continuación, se detalla la representación matemática del modelo utilizado:

$$Y_{it} = X_{it}\beta + \alpha_i + u_{it}$$

Se trata de un modelo de efectos fijos³ en el que,

Y_{it} : Variable dependiente. Cantidad de partículas medidas por la estación ambiental i en el periodo t . Dado que existen distintos tipos de partículas, habrá distintas variables dependientes, cada una con su modelo asociado (esto es, se han construido 3 modelos diferentes).

³ El modelo de efectos fijos considera que la heterogeneidad inobservable es un valor fijo y constante para cada individuo de la muestra, por lo que puede extraerse del error del modelo ($\varepsilon_{it} = \alpha_i + u_{it}$). Este modelo supone que la heterogeneidad inobservable está correlacionada con las variables explicativas del modelo, lo que podría tener sentido en el ámbito del conjunto de datos utilizado. Se han hecho pruebas con otras metodologías de modelización (modelo efectos aleatorios y modelo anidado), consiguiendo, aparentemente, un peor ajuste.

X_{it} : Matriz de variables explicativas. Este grupo de variables comprende las variables exógenas, las variables escalón del municipio en el que se sitúa la estación ambiental i , en el periodo t , y la tendencia temporal que trata de recoger, principalmente, el avance tecnológico experimentado durante el periodo histórico considerado. Es decir, se trata de todas aquellas variables cuyo efecto causal en la variable dependiente se pretende medir.

β : Es la matriz que mide los impactos en la variable dependiente de cada una de las variables incluidas en X_{it} .

α_i : Heterogeneidad inobservable de la estación ambiental i , en el sentido de lo explicado anteriormente (características del municipio en el que se sitúa, zona en la que está instalada, antigüedad de la estación, ...).

u_{it} : Error aleatorio del modelo, que incluiría todas aquellas variables que afectan al nivel de partículas medido en la estación i , en el periodo t , distintas a las variables explicativas incluidas en el modelo.

En este tipo de modelos, la variable denominada error es fundamental, ya que su relación con el resto de variables explicativas determinará el sesgo de los parámetros estimados. Obviamente, siempre habrá variables que afecten a la variable dependiente que estarán incluidas en el error, ya sea por desconocimiento, porque no es posible encontrar la información necesaria, o porque ni la tendencia temporal incluida como variable explicativa, ni la heterogeneidad inobservable, pueden captar sus comportamientos.

En el caso del ejercicio que se ha realizado, este hecho toma especial relevancia ya que hay diversas fuentes de sesgo. Desde las relacionadas con el tipo de información proporcionada desde los ayuntamientos a través del cuestionario ad-hoc, hasta la existencia de otras variables que afectan a la calidad del aire de los municipios y que pudieran estar relacionadas con alguna o algunas de las variables explicativas del modelo, y que no ha sido posible controlar al no disponer de información con la estructura temporal necesaria (por ejemplo, porcentaje de lo que representa el transporte público en la movilidad urbana de cada ciudad, porcentaje de utilización de los carriles bici, intensidad circulatoria de las ciudades, ...). Esta omisión de posibles variables relevantes dificulta la capacidad del modelo para aislar el impacto de las distintas variables explicativas en la variable dependiente, sobre todo, en lo que se refiere al efecto de las políticas municipales en la calidad del aire.

Por lo tanto, **existen diversas fuentes de sesgo que no es posible controlar, y que impiden que los resultados obtenidos sean concluyentes. En este sentido, es importante tener siempre en cuenta que las estimaciones realizadas tienen un carácter orientativo y, en ningún caso, servirían para extraer unas conclusiones definitivas sobre el impacto de las distintas políticas municipales en la mejora de la calidad del aire en las ciudades de la muestra.**

4.3. Resultados

Las siguientes tablas muestran la estimación de las relaciones causales obtenidas. En lugar de proporcionar una estimación puntual de cada parámetro (impacto de la variable en la calidad del aire), se proporciona el intervalo en el que se situarían aquellos parámetros significativos estadísticamente.

Adicionalmente, también se proporciona una estimación puntual de los parámetros que tienen el signo esperado, aunque no sean estadísticamente significativos.

La Tabla 1 representa el impacto de las distintas variables explicativas consideradas en el **nivel medio mensual de partículas**, medido por el conjunto de estaciones medioambientales de la muestra.

Se han estimado 3 modelos, en función de cada tipo de contaminante: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y partículas inferiores a 10 micras (PM₁₀).

Tabla 1. Impacto de las distintas variables del modelo en el nivel medio mensual de partículas, medido en las estaciones medioambientales del conjunto de municipios de la muestra.

		IMPACTO EN EL NIVEL MEDIO DE PARTICULAS		
		CO	NO2	PM10
1.	CONSTANTE	0,622 – 0,751	54,358 – 61,442	30,538 – 37,208
2.	TEMPERATURA	(-0,013) – (-0,009)	(-0,953) – (-0,615)	0,085 – 0,341
3.	PRECIPITACIONES	NO SIGNIFICAT.	(-0,040) – (-0,012)	(-0,036) – (-0,014)
4.	ACTIVIDAD (VARIACIÓN PARO REGISTRADO)	(-0,002) – (-0,001)	(-0,034) NO SIG.	(-0,134) – (-0,059)
5.	TENDENCIA TEMPORAL	(-0,002) – (-0,001)	(-0,110) – (-0,058)	(-0,119) – (-0,074)
6.	50% ESTACIONAMIENTO SUPERFICIE	(-0,101) – (-0,005)	(-4,505) – (-0,761)	(-5,055) – (-2,247)
7.	50% PARKING DISUASORIO	(-0,036) NO SIG.	(-2,019) NO SIG.	NO SIGNIFICAT.
8.	PROTOCOLO ANTICONTAMINACIÓN	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.
9.	ZONA BAJAS EMISIONES	(-0,152) – (-0,028)	(-3,060) NO SIG.	(-0,617) NO SIG.
10.	BICI-SHARING PATÍN-SHARING	NO SIGNIFICAT.	0,032 – 6,612	(-0,519) NO SIG.
11.	CAR-SHARING MOTO SHARING	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.
12.	50% CARRIL BICI	(-0,011) NO SIG.	(0,973) – (3,732)	(-2,994) – (-0,158)
13.	50% CARRIL BUS	0,033 – 0,124	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.
14.	BONIFICACIONES IMPT. CIRCULACIÓN	(-0,004) NO SIG.	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.
15.	50% PEATONALIZACIÓN	0,059 – 0,137	(-1,762) NO SIG.	NO SIGNIFICAT.
16.	POLÍTICA PEATONALIZACIÓN	(-0,010) NO SIG.	(-3,987) – (-0,728)	3,081 – 9,075

Los parámetros significativos se presentan en intervalos. Además, se muestra la estimación puntual de los parámetros que tienen el signo esperado, aunque no sean estadísticamente significativos.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2 presenta el impacto de las distintas variables explicativas consideradas en el **nivel medio mensual de la cantidad máxima de partículas**, medido en las estaciones medioambientales que conforman la muestra.

Como en el caso anterior, se ha ajustado un modelo para cada tipo de partículas analizado.

Tabla 2. Impacto de las distintas variables del modelo en el nivel medio mensual de la cantidad máxima de partículas, medido en las estaciones medioambientales del conjunto de municipios de la muestra

		IMPACTO EN EL NIVEL MÁXIMO DE PARTÍCULAS		
		CO	NO2	PM10
1.	CONSTANTE	2,602 – 3,330	167,828 – 190,554	173,018 – 213,649
2.	TEMPERATURA	(-0,061) – (-0,035)	(-1,701) – (-0,722)	NO SIGNIFICAT.
3.	PRECIPITACIONES	NO SIGNIFICAT.	(-0,149) – (-0,056)	NO SIGNIFICAT.
4.	ACTIVIDAD (VARIACIÓN PARO REGISTRADO)	(-0,011) – (-0,003)	(-0,067) NO SIG.	(-0,715) – (-0,618)
5.	TENDENCIA TEMPORAL	(-0,003) NO SIG.	(-0,291) – (-0,113)	(-0,672) – (-0,336)
6.	50% ESTACIONAMIENTO SUPERFICIE	(-0,201) NO SIG.	(-7,016) NO SIG.	(-60,281) – (-31,278)
7.	50% PARKING DISUASORIO	(-0,691) – (-0,280)	(-0,577) NO SIG.	1,233 – 27,658
8.	PROTOCOLO ANTICONTAMINACIÓN	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.
9.	ZONA BAJAS EMISIONES	(-0,129) – (-0,441)	(-12,333) NO SIG.	(-8,153) NO SIG.
10.	BICI-SHARING PATÍN-SHARING	NO SIGNIFICAT.	1,118 – 24,666	(-0,460) NO SIG.
11.	CAR-SHARING MOTO SHARING	NO SIGNIFICAT.	NO SIGNIFICAT.	(-2,262) NO SIG.
12.	50% CARRIL BICI	(-0,016) NO SIG.	2,240 – 12,618	(-27,741) – (-3,281)
13.	50% CARRIL BUS	NO SIGNIFICAT.	(-0,906) NO SIG.	(-0,967) NO SIG.
14.	BONIFICACIONES IMPT. CIRCULACIÓN	NO SIGNIFICAT.	(-0,673) NO SIG.	NO SIGNIFICAT.
15.	50% PEATONALIZACIÓN	0,309 – 0,864	(-15,527) – (-2,033)	NO SIGNIFICAT.
16.	POLÍTICA PEATONALIZACIÓN	(-0,194) NO SIG.	(-7,730) NO SIG.	NO SIGNIFICAT.

Los parámetros significativos se presentan en intervalos. Además, se muestra la estimación puntual de los parámetros que tienen el signo esperado, aunque no sean estadísticamente significativos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Variables explicativas exógenas

En cuanto a las variables exógenas, cabe destacar el impacto en el nivel medio de partículas en el aire de CO y NO₂ (Tabla 1), que podrían traer consigo temperaturas más elevadas (signo negativo en el intervalo de confianza y parámetros estadísticamente significativos). En concreto, un incremento de 1 grado en la temperatura media mensual de la ciudad, podría reducir la cantidad de CO en el aire (entre 0,013 y 0,009 mg/ m³ de media), manteniéndose constantes el resto de variables explicativas del modelo, tal y como se aprecia en la fila 2 de esa Tabla 1.

El resultado es similar entre las partículas de NO₂. **Un incremento de 1 grado en la temperatura media mensual de la ciudad reduciría la cantidad de NO₂ en el ambiente** (entre 0,953 y 0,615 µg/ m³ de media), manteniendo sin cambios el resto de variables del modelo.

Por el contrario, **la temperatura parece tener el efecto inverso sobre las partículas PM₁₀**. Pudiera ser que los incrementos de temperatura provocaran aumentos de la cantidad media de este tipo de partículas en el aire (signo positivo en los extremos del intervalo de confianza estimado).

En lo que respecta a la **cantidad máxima de partículas contaminantes** (Tabla 2), **el incremento de las temperaturas también parece tener un impacto favorable en la calidad del aire** (incremento de la temperatura, reducción de la cantidad máxima de partículas), **en lo que se refiere, sobre todo, a CO y NO₂**. Por ejemplo, según la fila 2 de la Tabla 2, un aumento de 1 grado en las temperaturas reduciría la cantidad máxima de NO₂ entre 1,701 y 0,722 µg/ m³ de media, manteniéndose constantes el resto de variables del modelo. La reducción en la cantidad máxima de CO sería de 0,061 y 0,035 mg/ m³, bajo las mismas condiciones. El impacto de las temperaturas no resulta estadísticamente significativo en las cantidades máximas de PM₁₀.

Por tanto, **los incrementos de temperatura sí tendrían un efecto beneficioso en lo que respecta a la calidad del aire. En concreto, temperaturas más elevadas parecen reducir la cantidad media y máxima de partículas nocivas en el ambiente.**

A partir de esta explicación con cierto detalle acerca de cómo se interpretan los resultados relativos al impacto o efecto que una variable explicativa (temperatura) puede tener en las variables dependientes (calidad del aire en sus distintas formas), el impacto del resto de variables se analizará de forma más sinóptica.

En concreto, **la cantidad de precipitación también parece tener un impacto favorable en la calidad del aire de las ciudades**, en el sentido de que, incrementos en la cantidad de agua recogida (ya caiga en forma de lluvia, granizo o de nieve), reduciría el número medio de partículas de NO₂ y PM₁₀ registrado en el ambiente (signo negativo en los extremos de los intervalos). El impacto en la cantidad media de CO no parece estadísticamente significativo (fila 3 de la Tabla 1).

En cuanto a la cantidad máxima de partículas (fila 3 de la Tabla 2), el incremento de las precipitaciones reduciría la cantidad máxima de NO₂ en el ambiente, mientras que no se aprecia efecto estadísticamente significativo en las otras dos variables dependientes, CO y PM₁₀.

En general, **el impacto de las precipitaciones en la mejora de la calidad del aire se centra, sobre todo, en el NO₂ y en las cantidades medias de PM₁₀**. Podría tener que ver con la capacidad del agua para limpiar este tipo de contaminantes (arrojándolos al suelo al caer en forma de precipitación o, si viene acompañada de vientos, desplazándolos hacia otras zonas).

El **nivel de actividad económica también parece tener impacto en la presencia de contaminantes en el ambiente**, tanto en la cantidad media de partículas (fila 4 de la Tabla 1), como en la cantidad máxima (fila 4 de la Tabla 2).

Dado que no ha sido posible contar con una variable específica de la actividad económica relativa a cada ayuntamiento de la muestra, se ha utilizado una variable de control. A saber, la tasa de variación interanual del paro registrado (en %), para cada uno de los meses de la serie histórica, en las provincias a las que pertenecen los municipios de la muestra.

Se trata de una variable cuya evolución es inversamente proporcional al grado de actividad en el municipio. Es decir, se parte de la hipótesis de que incrementos de la tasa de paro provincial estarán relacionados con una caída de actividad en la provincia y, por ende, en la capital, como municipio más importante de ésta. Por el contrario, descensos en la tasa de paro provincial denotan crecimiento económico en la capital de la provincia, como ciudad enseña de ésta.

En este caso, el signo asociado a los límites de los intervalos de confianza estimados es negativo en los distintos modelos (tanto en los referentes al nivel medio de partículas, como en los relativos a los niveles máximos de éstas). Esto es, como era de suponer, incrementos en la tasa de paro (ralentización de la actividad económica), traerían consigo una disminución de la cantidad medida de partículas contaminantes, CO, NO₂ y PM₁₀. Lo contrario ocurriría con una disminución de la tasa de paro.

La última de las variables exógenas incluida en el modelo es la tendencia temporal que recogería el efecto de un compendio de variables cuya información no ha sido posible obtener. Se trata, principalmente, de variables relacionadas con el avance tecnológico experimentado durante el periodo histórico considerado. En este caso, **el transcurso del tiempo muestra una reducción tanto en la cantidad media de partículas, como en la cantidad máxima** (fila 5 de las Tablas 1 y 2). Es decir, el impacto global en la calidad del aire de esa tendencia temporal ha sido favorable en el sentido de que, con el paso del tiempo, se ha venido reduciendo, en media, la cantidad de partículas contaminantes diseminadas en el ambiente.

Además, es importante señalar que la tendencia temporal es la variable que más ha contribuido a mejorar la calidad del aire durante el periodo temporal que abarca el estudio (los coeficientes estimados para esta variable muestran la reducción media de la cantidad de partículas contaminantes, cada año del periodo considerado). Este resultado está en línea con la percepción que se tiene desde diversos ámbitos, de que el avance tecnológico en las motorizaciones de los vehículos es el factor más importante que ha contribuido a mejorar la calidad del aire en las ciudades.

4.3.2. Variables explicativas sobre las medidas municipales aplicadas

Una vez descontado el impacto de las variables exógenas, incluida la tendencia temporal, y de la heterogeneidad inobservable, descrita en el apartado metodológico, se aborda el posible impacto de las políticas municipales en la calidad del aire de las ciudades, con detalle en función de las diferentes tipologías de actuaciones aplicadas por los ayuntamientos considerados.

Medidas en materia de estacionamiento

Como se ha detallado en el apartado 4.1 de este documento, el primer bloque de variables explicativas relacionadas con la encuesta a ayuntamientos tiene que ver con el estacionamiento en el municipio.

En este sentido, **las medidas o políticas municipales sobre estacionamiento, destinadas principalmente a incrementar el número de plazas de aparcamiento regulado en superficie o dirigidas a potenciar la red de aparcamientos disuasorios en las ciudades, sí parecen tener cierto impacto favorable en la calidad del aire de los municipios de la muestra.**

Más concretamente, predominan los signos negativos en los límites superior e inferior de los intervalos entre los que se movería el impacto de estas políticas para cada uno de los componentes contaminantes analizados, tal y como se puede apreciar en las filas 6 y 7 de las Tablas 1 y 2.

Por ejemplo, según la fila 6 de la Tabla 1, tras alcanzar el 50% del número actual de plazas de aparcamiento regulado en superficie disponibles, la cantidad media de CO detectada en el aire de las ciudades podría haberse reducido entre 0,101 mg/m³ y 0,005 mg/m³, de media, en los municipios que componen la muestra durante el periodo histórico considerado. Paralelamente, la reducción en el nivel medio de NO₂ tras habilitar el 50% de las plazas de estacionamiento regulado podría haberse situado entre 4,505 µg/ m³ y 0,761 µg/ m³ de media, manteniendo sin cambios el resto de variables incluidas en el modelo.

El impacto en la calidad del aire que ha podido tener la ampliación de la red de aparcamientos disuasorios, siendo favorable, queda algo más diluido, como se aprecia en la fila 7 de la Tabla 1, al mostrar un mayor número de parámetros con signo negativo, pero que no son estadísticamente significativos.

Del mismo modo, el impacto de estas políticas en la cantidad máxima de emisiones tampoco es tan claro desde el punto de vista estadístico, como muestran las filas 6 y 7 de la Tabla 2, aunque dado el signo negativo de la mayoría de parámetros estimados, sí se podría asumir un cierto efecto favorable, produciendo una reducción de las cantidades máximas de partículas detectadas en las estaciones medioambientales distribuidas por los municipios de la muestra, conforme se incrementa el número de plazas de estacionamiento regulado y la capacidad de los aparcamientos disuasorios.

Hay que destacar cómo las políticas destinadas a gestionar las zonas de aparcamiento regulado suelen ir acompañadas, en muchos de los ayuntamientos de la muestra, de bonificaciones en los precios con base en algún criterio de emisiones en los vehículos (como, por ejemplo, etiquetado de la DGT, antigüedad, sistema de propulsión, etc.).

Paralelamente a las zonas de aparcamiento regulado, las ciudades suelen contar con una red de aparcamientos públicos cuya explotación se concede a empresas privadas. En este caso, son pocos los ayuntamientos de la muestra que aplican descuentos en la red de aparcamientos públicos en función de algún criterio de emisiones. Por otro lado, la mayoría de ellos afirma disponer de puntos de recarga eléctrica en esa red.

Medidas en materia de emisiones contaminantes y calidad del aire

El segundo bloque de variables extraídas de la encuesta a municipios está relacionado con la normativa sobre emisiones contaminantes y calidad del aire. En concreto, se consultó a los ayuntamientos sobre la aplicación de protocolos anticontaminación y la delimitación de zonas de bajas emisiones.

De los 11 ayuntamientos que respondieron a este bloque, 6 confirmaron disponer de un protocolo ante episodios por elevada contaminación atmosférica. Según la información aportada, el protocolo anticontaminación se suele aplicar en distintas fases que entran en vigor de manera secuencial, conforme se agrava el episodio.

Entre las medidas adoptadas cuando surge el problema, la más común entre los municipios de la muestra tiene que ver con la información y recomendaciones a los ciudadanos (medida adoptada en los 6 ayuntamientos).

Otra de las medidas con mayor grado de implantación es la relativa a las restricciones a la circulación de vehículos, ya sea en todo el término municipal o en ciertas zonas. 5 de los 6 ayuntamientos aplican esta medida cuando es necesario en base a distintos criterios: 3 de los 5 ayuntamientos la aplican en función del etiquetado de la DGT, 1 en base a la antigüedad de los vehículos y 1 en función de la matrícula.

La promoción del transporte público (descuentos, acceso gratuito, etc.) es abordada por 4 de los 6 ayuntamientos.

De acuerdo con los datos ofrecidos en la fila 8 de las Tablas 1 y 2, **no se han encontrado efectos estadísticamente significativos en la calidad del aire de las ciudades a partir de la fecha en la que se empezaron a aplicar protocolos anticontaminación**. Se trata de un resultado que no debería sorprender con los datos disponibles. Estos datos no permiten identificar las fechas en las que se activa y desactiva el protocolo de cada ayuntamiento de la muestra. Simplemente se dispone de información aproximada sobre la fecha en la que entró en vigor el protocolo (la entrada en vigor de la normativa que lo establecía).

Es decir, parece que la mera existencia de los protocolos anticontaminación tiene un impacto limitado en la calidad del aire de las ciudades en el largo plazo, lo que no quiere decir que no sean útiles para solventar los episodios puntuales de elevada contaminación, que es para lo que, en teoría, fueron diseñados.

En cuanto al establecimiento de **zonas de bajas emisiones**, estas zonas **podrían tener cierto impacto favorable en la calidad del aire del conjunto de la ciudad**, sobre todo en lo que respecta a las partículas de CO, tal y como reflejan los coeficientes e intervalos negativos de la fila 9 en las Tablas 1 y 2. Sin embargo, **este resultado se basa en la información aportada por un solo ayuntamiento de la muestra, claramente insuficiente para considerar estos resultados como concluyentes**.

Medidas en materia de movilidad urbana

Se trata de un bloque al que respondieron 12 de los 14 ayuntamientos comprendidos en la muestra.

De acuerdo con las respuestas obtenidas, 7 de estos 12 ayuntamientos afirmaron disponer en la ciudad de servicios de *car-sharing* y *moto-sharing* eléctrico. En la mayoría de ellos se trata de un servicio que no está regulado. Solo 3 ayuntamientos confirmaron disponer de regulación al respecto, donde se abordan criterios como las características de los vehículos (en los 3 ayuntamientos), el cupo de vehículos disponibles (en 2 de ellos) y el precio por uso (en 1 de los 3).

Por otro lado, 6 de los 12 ayuntamientos disponen de servicios de *bike-sharing* y *sharing* de patinete eléctrico. En 4 de esos 6 municipios se dispone de normativa que regula el uso de bicicletas y/o patinetes motorizados, aunque se trata de una regulación reciente (normativas

aprobadas en 2019 o 2020). Aspectos comunes que regulan estas normativas son el estacionamiento, la circulación y los elementos obligatorios de uso. La edad mínima de uso está regulada en 3 de esos 4 municipios.

La regulación de estas actividades emerge como una pieza muy relevante en la configuración de la movilidad de las ciudades. La movilidad compartida es un servicio novedoso que ha irrumpido rápidamente en la realidad de los ayuntamientos. Ante ello, éstos suelen aplicar medidas heterogéneas, improvisadas en muchos casos.

La situación aconseja la elaboración de una regulación común a nivel estatal que permita a los distintos ayuntamientos disponer de una herramienta de referencia para establecer criterios, tanto para la puesta en marcha del servicio como a la hora de realizar un seguimiento sobre la prestación del mismo.

Del mismo modo, esa regulación común favorecería la actividad de los operadores, al sentar las bases de reglas de juego comunes, beneficiando así el despliegue de los servicios, aumentando, por otro lado, la homogeneidad entre diferentes municipios, facilitando el uso para el usuario final.

Respecto al **impacto que han podido tener en la calidad del aire de las ciudades los distintos servicios de movilidad compartida** descritos (*car-sharing, moto-sharing, bike-sharing* y *sharing* de patinete eléctrico), **no se pueden extraer resultados concluyentes** de acuerdo con las estimaciones del modelo. Las filas 10 y 11 de las Tablas 1 y 2 muestran cómo muchos de los parámetros estimados no son significativos estadísticamente, y los que lo son, muestran resultados contradictorios (en algunos casos, los signos de los intervalos son positivos y en otros hay parámetros negativos).

Es probable que este tipo de servicio aún no tenga un peso relevante en la movilidad de las ciudades en España como para ejercer un impacto significativo en la calidad del aire. Es por ello que, en este momento, no se pueden extraer conclusiones acerca de su implantación. Aunque, lógicamente, al tratarse en la mayoría de los casos de medios de locomoción eléctricos, su impacto debería ser favorable en la medida en que su utilización corresponda a un usuario que, de otra manera, hubiera utilizado su propio vehículo de combustión tradicional.

En este sentido, en 2016 se publicó una investigación de la Universidad de California Berkeley⁴ en la que se estudian los efectos del car-sharing en la calidad del aire de 5 ciudades norteamericanas. En concreto, el estudio se refiere al impacto que tiene la actividad de uno de los principales operadores de car-sharing del mundo. Los resultados del trabajo sugieren que el servicio de car-sharing que ofrece este operador se utiliza, en general, para llevar a cabo viajes cortos destinados a satisfacer necesidades de movilidad inmediatas. Se podría decir en este caso que el car-sharing tiene, para la mayoría de usuarios, una utilidad similar a la del transporte público, utilizándose como sustitutivo de éste, lo que no tendría un impacto real en la calidad del aire.

No obstante, el estudio refleja que también existe un reducido porcentaje de población de la ciudad que acabó utilizando el servicio del operador como un sustitutivo del vehículo personal, llegando incluso a deshacerse de su vehículo privado o evitan adquirir uno. En concreto, el trabajo refleja cómo entre un 2% y un 5% de los usuarios del servicio vendió su vehículo y entre un 7% y un 10% decidió no adquirir un vehículo nuevo. Debido a ello, se estima que las emisiones se redujeron entre 5.300 y 10.000 toneladas de gases efecto invernadero al año (en el escenario más optimista).

Se trata, en todo caso, de conclusiones que sería oportuno contrastar en el ámbito de las ciudades españolas, conforme este tipo de servicios tenga una mayor implantación y desarrollo.

Otros aspectos consultados en este bloque de movilidad urbana son los relativos a la existencia de carriles específicos para la circulación de vehículos de servicio público, bicicletas y/o patines.

En este sentido, cabe destacar cómo la totalidad de los 12 ayuntamientos que componen la muestra de este bloque confirmó disponer de carriles bici dentro del municipio, con una extensión media, entre todos ellos, de 148 km.

Por otro lado, 9 de los 12 municipios afirmaron disponer de carriles específicos para la circulación de autobuses y otros vehículos de servicio público. La extensión media de carriles bus entre los 9 municipios es de 54 km.

En cuanto a la relación entre la ampliación de este tipo de carriles y su impacto en la calidad del aire, parece ser **favorable en lo que respecta a algunos componentes contaminantes, pero no en otros**, como se puede apreciar en las filas 12 y 13 de las Tablas 1 y 2. Como siempre, los signos negativos en los intervalos o en los parámetros estimados indican una reducción de la presencia

⁴ Impacts of Car2go on Vehicle Ownership, Modal Shiftm, Vehicles Miles Traveled, and Greenhouse Gas Emissions: An Analysis of five North America Cities.

de la partícula correspondiente, mientras que signos positivos en intervalos o parámetros señalan un incremento de partículas contaminantes.

En este caso, **sería necesario abordar un estudio más exhaustivo para poder extraer conclusiones más ajustadas sobre el verdadero impacto**. Para ello, además de conocer la disponibilidad de este tipo de infraestructuras, sería necesario obtener información sobre el grado de utilización que se hace de ellas (número de usuarios, porcentaje que representa en la movilidad total dentro de la ciudad, momentos de la semana de mayor utilización, ...).

Como aspectos complementarios a este ámbito de movilidad urbana, también se consultó a los ayuntamientos por la existencia de un registro para la distribución urbana de mercancías que permita la aplicación de diferentes medidas de movilidad, a lo que respondieron afirmativamente solo 4 ayuntamientos de los 12 que respondieron al bloque.

Por el contrario, la gran mayoría, 10 de los 12 municipios, confirmó la existencia de una priorización horaria para la carga y descarga de mercancías, la cual suele modificarse en función de la zona de reparto (zona peatonal o no, zona de acceso limitado, zona centro, resto de zonas, ...).

Relativo a lo anterior, en 11 de los 12 municipios de la muestra hay zonas de estacionamiento en superficie específicas para carga y descarga, pero en solo 3 de ellos existen puntos de conexión urbanos para el transporte de última milla.

En 4 de los 12 ayuntamientos existen incentivos a la distribución urbana mediante vehículos de bajas emisiones: en 3 de ellos se permite circular por zonas con restricciones; en 2 se incrementa el tiempo de estacionamiento para este tipo de vehículos; y en 1 se aplican incentivos a la compra.

Finalmente, a continuación, se resumen los resultados relativos a otras cuestiones incluidas en el bloque de movilidad:

- En 6 de los 12 municipios existen restricciones a la circulación de taxis y vehículos VTC, principalmente con base en el etiquetado de la DGT, aunque en algunos casos la normativa establece un máximo de antigüedad para este tipo de vehículos y en otros se establece que los nuevos vehículos no sean de gasoil, por ejemplo.
- En 7 de los 12 ayuntamientos existe alguna regulación respecto a la circulación de taxis y VTC cuando no tengan ocupantes, o en cuanto a su estacionamiento (reserva de espacios en superficie).

- En 7 de los 12 ayuntamientos existe una estrategia de aproximación para que empresas, colegios, ..., puedan elaborar sus propios planes de movilidad.
- En 10 de los 12 las políticas de movilidad están coordinadas con las del departamento de urbanismo.
- En 7 de los 12 existen estrategias o medidas para fomentar la Maas (*Mobility as a Service*).
- 11 de los 12 tienen habilitada una plataforma / página web / app para facilitar al ciudadano información sobre la disponibilidad, tiempo de espera, etc., de los servicios de movilidad municipales.
- En 5 de los 12 existe un modelo de movilidad unificado que permita la gestión y optimización en tiempo real de los flujos de movilidad urbana.

Medidas en materia de fiscalidad y precios de acceso

El bloque de fiscalidad y precios de acceso fue respondido por 11 de los 14 municipios que componen la muestra. En este bloque se consultaba sobre la existencia de incentivos fiscales a vehículos poco contaminantes, coordinación con otras Administraciones y peajes de acceso a las ciudades.

En este sentido, 9 de los 11 ayuntamientos que conforman la muestra de este bloque indicaron aplicar en el municipio **bonificaciones en el impuesto de circulación** (impuesto sobre vehículos de tracción mecánica), con base en el etiquetado de la DGT, su antigüedad u otros criterios medioambientales. No obstante, tal y como se detalla en la fila 14 de las Tablas 1 y 2, estos incentivos **no parecen tener efectos en la calidad del aire de las ciudades, al menos efectos que se puedan considerar estadísticamente significativos**.

Respecto a los peajes, **ninguno de los ayuntamientos que conforman la muestra tiene establecidos peajes para acceder a algún punto del núcleo urbano y tampoco está previsto que se establezcan en el futuro**.

Por último, en este bloque se incluyó una pregunta sobre coordinación entre ayuntamientos y otras Administraciones Públicas en materia de fiscalidad sobre vehículos o en cualquier otro ámbito de la movilidad (calidad del aire, peatonalización...). Cabe destacar cómo 8 de los 11 ayuntamientos confirmaron coordinarse con otras AA.PP. De ellos,

- 2 afirmaron coordinarse con la Administración General del Estado.
- 7 indicaron que se coordinaban con las respectivas Comunidades Autónomas.
- Ninguno de ellos se coordina con la Diputación Provincial.
- 3 se coordinan con otros organismos como mancomunidades, autoridades de transporte a nivel metropolitano,

Medidas en materia de peatonalización

Por último, el bloque de sobre peatonalización consultaba a los ayuntamientos sobre medidas o normativas relacionadas con la peatonalización en los distintos municipios. Se trata de un bloque que fue respondido por 10 de los 14 municipios de la muestra.

En general, **las medidas o normativas relacionadas con la peatonalización, aparentemente, podrían tener un impacto favorable en la calidad del aire de las ciudades, sobre todo en lo que respecta a la presencia de NO₂ en el ambiente.**

De acuerdo con la fila 15 de la Tabla 1, a partir de que se alcanzara el 50% del total de la peatonalización existente actualmente en los municipios de la muestra, la cantidad media de NO₂ pudo haberse reducido en 1,762 µg/ m³, manteniéndose sin cambios el resto de variables del modelo. No obstante, hay que destacar que ese parámetro no es estadísticamente significativo, por lo que esta conclusión debería plantearse con cierta precaución.

Por el contrario, el impacto es el contrario en lo que respecta a CO, donde se registra un incremento de la presencia en el aire de partículas de este contaminante a partir de que se alcanzara el 50% del total de zonas peatonales existentes (este incremento se podría situar entre 0,059 mg/m³ y 0,137 mg/m³).

El impacto en partículas PM₁₀ no es estadísticamente significativo.

El efecto sí parece más destacable en lo que respecta al nivel medio de concentraciones máximas de partículas contaminantes. En concreto, la fila 15 de la Tabla 2, muestra cómo **la cantidad máxima de NO₂ en el ambiente podría haberse reducido en los ayuntamientos de la muestra entre 15,527 µg/ m³ y 2,033 µg/ m³, tras alcanzar el 50% del total de zonas peatonales existentes en la actualidad.**

No ocurre lo mismo en cuanto a la cantidad máxima de CO en el ambiente, la cual parece incrementarse conforme avanza la extensión de zonas peatonales.

Se requeriría un análisis más profundo para confirmar si la ampliación de zonas peatonales tiene un impacto diferente en la calidad del aire de las ciudades en función del tipo de partícula que se considere, o este resultado es debido a problemas de disponibilidad de información y de especificación del modelo utilizado.

Finalmente, la fila 16 de las Tablas 1 y 2 refleja el posible impacto en la calidad del aire de las ciudades de la actual política de peatonalización desarrollada en los ayuntamientos de la muestra.

El impacto sobre la cantidad media de NO₂ sería favorable en este caso (fila 16 Tabla 1), en el sentido que, **desde que se empezó a aplicar la actual política de peatonalización en los ayuntamientos de la muestra, la cantidad media de partículas de NO₂ en el ambiente podría haberse reducido** entre 3,987 µg/ m³ y 0,728 µg/ m³, manteniéndose sin cambios el resto de variables del modelo.

El **impacto también podría ser favorable en la cantidad media de partículas de CO** (parámetro negativo, aunque no significativo estadísticamente), pero no tanto entre las de PM₁₀, que parecen haberse incrementado en los municipios de la muestra cuando empezó a desarrollarse la actual política de peatonalización.

En cuanto a la **cantidad máxima de partículas**, la fila 17 de la Tabla 2 apunta a que **el impacto en la cantidad de NO₂ y CO en el ambiente podría haber sido favorable** (disminución de las cantidades máximas de ambos componentes contaminantes desde que se empezó a aplicar las actuales políticas de peatonalización), aunque no significativo estadísticamente.

Como con otras conclusiones referidas a otros ámbitos de la movilidad, se requeriría un estudio más exhaustivo en este sentido para determinar de manera más clara el impacto real de las políticas de peatonalización en la calidad del aire en las ciudades.

5. CONCLUSIONES

Desde hace ya algunos años, se aprecia un **incremento de la concentración de la población en ciudades, en detrimento del mundo rural, proceso que se ha acelerado en las grandes ciudades** como Madrid o Barcelona, respecto a otras de menor tamaño. Esta evolución hacia la concentración de la población en el entorno urbano trae consigo retos irrenunciables para los órganos de gobierno de las grandes ciudades, entre los que cabe destacar la necesidad de disponer de una adecuada calidad del aire o la de facilitar la movilidad de la población dentro del núcleo urbano.

Este estudio lleva a cabo un **análisis sobre los posibles efectos que las distintas medidas y normativas municipales aprobadas por las corporaciones locales en materia de movilidad y mejora de la calidad del aire, han tenido en las cantidades medidas de ciertos componentes contaminantes del aire de las ciudades.**

Para ello, se han utilizado datos sobre la cantidad de partículas contaminantes que están presentes en el aire de las urbes y se ha recabado información de los ayuntamientos sobre las medidas o normativas municipales relacionadas con la materia.

Asimismo, también ha sido necesario recopilar otro tipo de información de interés para el análisis. En teoría, pueden existir otras variables que no tienen relación con las políticas implementadas por las corporaciones municipales, que también podrían tener influencia en la calidad del aire de las ciudades.

Como resultado, se ha configurado un conjunto de datos con estructura de panel sobre información mensual de 86 estaciones medioambientales, distribuidas por los 14 municipios que, finalmente, componen la muestra. Se trata de 21 variables para las que se dispone información desde enero de 2004 a diciembre de 2019.

Es importante resaltar que, al no tratarse de una muestra de municipios seleccionada aleatoriamente, los resultados son meramente orientativos, y referidos exclusivamente a la muestra utilizada, no al conjunto de ciudades españolas. Además, **existen diversas fuentes de sesgo que no es posible controlar, y que impiden que los resultados obtenidos sean concluyentes.**

Sobre esta base, como un primer resultado relevante de esta investigación, se constata una reducción de la cantidad de contaminantes presentes en el aire de las ciudades que componen la muestra, durante el periodo histórico considerado en el análisis.

Por otra parte, en el ámbito del análisis de impacto efectuado, cabe extraer las siguientes conclusiones:

- Las medidas o políticas municipales sobre estacionamiento, tanto regulado en superficie como disuasorio, parecen tener un impacto favorable en la calidad del aire de las ciudades.
- Las restricciones a la movilidad de vehículos establecidas en zonas de bajas emisiones también podrían tener cierto impacto favorable en la calidad del aire (aunque en este caso solo se dispone de información sobre un ayuntamiento de la muestra, insuficiente como para extraer conclusiones generales).
- La ampliación de carriles específicos (bici o bus) parece tener impacto favorable en algunos componentes contaminantes, pero no en otros. Se requeriría un análisis más exhaustivo para poder extraer conclusiones más ajustadas sobre su verdadero impacto.
- No se pueden extraer resultados concluyentes para la movilidad compartida o *sharing* (vehículos, motocicletas, bicicletas y patines). Esto podría deberse a que su peso en la movilidad de las ciudades todavía sería poco relevante como para ejercer un impacto significativo en la calidad del aire.
- Las bonificaciones al impuesto de circulación en función del etiquetado de la DGT no parecen tener efecto en la calidad del aire.
- Las medidas o normativas relacionadas con la peatonalización, aparentemente, podrían ejercer un impacto favorable en la calidad del aire de las ciudades, sobre todo en lo que se refiere a presencia de NO₂ en el ambiente.
- Los modelos estimados incluyen, como variable exógena, una tendencia temporal que pretende recoger el efecto de un conjunto de variables de difícil obtención, entre las que destaca el avance tecnológico. Se trata de la variable que más ha contribuido a mejorar la calidad del aire durante el periodo temporal que abarca el estudio, en la medida que el impacto estimado debe interpretarse como la reducción media anual de la cantidad de

partículas contaminantes durante el periodo considerado derivado de la mejora tecnológica de los motores de combustión, entre otros factores.

Si bien el impacto de algunas medidas particulares y tomadas de manera individual sobre la reducción de partículas contaminantes no es estadísticamente significativo, como se ha descrito, es posible que puedan serlo en el marco de una política coordinada e integral destinada a mejorar y descarbonizar la movilidad en su conjunto en los ámbitos urbanos. Sería un punto que requeriría, en cualquier caso, un análisis más exhaustivo.

Por último, es necesario poner de manifiesto la falta de información necesaria para conocer el impacto real de las políticas medioambientales aplicadas por los municipios españoles. En este sentido, sería recomendable diseñar una metodología de recogida de información municipal homogénea que permita a las distintas administraciones, y resto de agentes interesados, abordar investigaciones para determinar el impacto de las distintas políticas municipales de manera más ajustada.



Índice de gráficos, tablas e ilustraciones

Gráfico 1. Niveles medios de CO medidos en el conjunto de municipios de la muestra	11
Gráfico 2. Niveles máximos de CO medidos en el conjunto de municipios de la muestra	11
Gráfico 3. Niveles medios de NO2 medidos en el conjunto de municipios de la muestra	12
Gráfico 4. Niveles máximos de NO2 medidos en el conjunto de municipios de la muestra.....	12
Gráfico 5. Niveles medios de PM10 medidos en el conjunto de municipios de la muestra	13
Gráfico 6. Niveles máximos de PM10 medidos en el conjunto de municipios de la muestra	13
Tabla 1. Impacto de las distintas variables del modelo en el nivel medio mensual de partículas, medido en las estaciones medioambientales del conjunto de municipios de la muestra.....	21
Tabla 2. Impacto de las distintas variables del modelo en el nivel medio mensual de la cantidad máxima de partículas, medido en las estaciones medioambientales del conjunto de municipios de la muestra.....	22
Ilustración 1. Información utilizada sobre la calidad del aire en los ayuntamientos	9