

# Afectación del Covid en el transporte y la polución de las grandes ciudades europeas (+1.000.000 habitantes)

Nombre del estudiante: Guillem Baena Mas

Nombre del tutor/a: Valeria Bernardo

Fecha: 06/06/21

**MEMORIA DEL TRABAJO FINAL DE GRADO**

---

**Curso: 4rt**

**Estudios: Logística y Negocios Marítimos**

*Afectación del Covid en el transporte y la polución de las grandes ciudades europeas (+1.000.000 habitantes)*

## **Agradecimientos**

En primer lugar, me gustaría expresar mi agradecimiento a mi tutora del trabajo Valeria Bernardo, por su continua dedicación y compromiso durante todo el proceso, por su constaste soporte y tiempo dedicado. Sin su ayuda yo no habría llegado a realizar este estudio.

En segundo lugar, me gustaría agradecer al tribunal por darme un *feedback* en la entrega intermedia del trabajo, ya que gracias a sus opiniones y propuestas de mejora he podido mejorar aspectos del trabajo, como por ejemplo, replantearme las hipótesis, la utilización de lenguaje más formal, etc.

Finalmente me gustaría agradecer el apoyo a mi familia y mi entorno de amistades que me han estado apoyando durante todos estos meses de trabajo. Muchas gracias.

## **Resum**

La pandèmia mundial del Covid 19 ha canviat la nostre forma de viure durant aquest últim any, hem viscut una situació que la societat mundial feia molt de temps que no vivia. Durant l'any 2020, sobretot el mesos de març, abril i maig, es va viure una situació excepcional, un confinament de la població imposat per les autoritats per frenar la propagació del virus. Els valors de contaminació en les ciutats es van reduir de forma considerable, sobretot a les zones més afectades.

Aquest treball inclou un anàlisi de com ha afectat la pandèmia del Covid-19 als nivells de contaminació de nou ciutats de l'àmbit europeu.

L'anàlisi està realitzat a partir de regressions múltiples que s'han fet amb dues variables independents  $PM_{10}$  i  $NO^2$ , que són els dos principals contaminants que s'analitzen quan es parla de contaminació a les ciutats.

A la vegada s'ha afegit un últim apartat on s'analitza quina de les polítiques de transport actuals, és la més eficaç per reduir els nivells de pol·lució i congestió.

A partir de les dades obtingudes s'arriba a la conclusió de que la pandèmia va afectar de forma molt significativa als valors de contaminació y que després d'aquesta situació tant excepcional, les ciutats han canviat de mentalitat i s'han proposat aplicar polítiques efectives amb l'objectiu de reduir els nivells de contaminació actuals, com per exemple els sistemes de Zones de Baixes Emissions o els sistemes de peatges urbans.

## **Resumen**

La pandemia mundial del Covid 19 ha cambiado nuestra manera de vivir durante este último año, hemos vivido una situación que hacía muchos años que la sociedad mundial no vivía. Durante el pasado año 2020 en los meses de marzo, abril y mayo, se vivió una experiencia que no se recordaba, un confinamiento de la población impuesto por las autoridades, para frenar la propagación del virus. Los valores de contaminación en las ciudades se redujeron de forma muy considerable, sobre todo en las zonas más afectadas.

Este documento incluye un análisis de como ha afectado la pandemia del Covid-19 a los niveles de contaminación de nueve ciudades europeas analizadas.

El análisis está realizado a partir de regresiones múltiples que se han hecho con dos variables independientes  $PM_{10}$  y  $NO^2$  que son los dos principales contaminantes que se utilizan cuando se analizan los valores de contaminación de las ciudades.

A su vez, se añade un ultimo apartado donde se analiza cuál de las políticas de transporte actuales que se implementan en las ciudades, es la más eficaz para reducir los niveles de polución y congestión.

A partir de los datos obtenidos se llega a la conclusión de que la pandemia afectó de forma muy significativa a los valores de contaminación y que después de esta experiencia, las ciudades han cambiado de mentalidad y se han propuesto aplicar políticas para reducir de forma considerable estos niveles de polución, como son las Zonas de Bajas Emisiones (*Low Emissions Zones*) y los sistemas de Peajes Urbanos (*Congestion Tolls*).

## **Abstract**

The global pandemic of Covid 19 has changed our way of life during the last year, we have lived a situation that the world society had not experienced for many years. During the 2020, in the months of March, April and May, we lived through an experience that had never been experienced before, a lockdown of the population imposed by the authorities, in order to stop the spread of the virus. Pollution levels in the cities were considerably reduced, especially in the most affected areas.

This paper includes an analysis of how the Covid-19 pandemic has affected pollution levels in nine European cities analyzed. The analysis is based on multiple regressions using two independent variables  $PM_{10}$  and  $NO^2$ , which are the two main pollutants used when analyzing pollution values in cities.

At the same time, a last section is added where it is analyzed which of the current transport policies implemented in cities is the most effective in reducing pollution and congestion levels.

From the data obtained, it is concluded that the pandemic had a very significant effect on pollution levels and that after this experience, cities have changed their mentality and have proposed to apply policies to considerably reduce these pollution levels, such as Low Emission Zones and Urban Toll systems (*Congestion Tolls*).

## **Tabla de Contenido**

Introducción .....	8
1. Marco teórico .....	10
1.1. Contaminantes y situación económica.....	10
1.1.1 Principales contaminantes.....	10
1.1.2. Clasificación de los contaminantes.....	11
1.1.2.1. Tipos .....	11
1.1.3. Medición de la calidad del aire .....	12
1.1.4. Situación actual en Europa.....	13
1.2. Transporte, polución y políticas públicas de movilidad .....	17
1.2.1. Principales sectores productores de polución. ....	17
1.2.2. Principales políticas urbanas que adoptan las ciudades.....	19
1.2.2.1. Low Emissions Zones .....	19
1.2.2.2. Congestion Toll.....	20
1.3. Covid, transporte y polución. ....	22
1.3.1. Afectación del COVID-19 en los niveles de polución. ....	22
1.3.2. Incremento uso vehículo privado.....	23
1.4. Conclusiones marco teórico.....	24
2. Objetivos .....	25
3. Hipótesis .....	25
4. Metodología y datos .....	26
5. Resultados .....	33
5.1 Análisis descriptivo.....	33
5.2 Análisis econométrico.....	35
6. Conclusiones y recomendaciones .....	39
7. Cronograma del trabajo.....	41
8. Referencias bibliográficas .....	43

*Afectación del Covid en el transporte y la polución de las grandes ciudades europeas (+1.000.000 habitantes)*

## **Introducción**

A lo largo de la historia la población ha migrado desde las zonas rurales a los grandes centros de población en busca de nuevas oportunidades. Un dato, en el año 2008, se superó por primera vez en la historia de la humanidad donde la concentración de población urbana era mayor que la población rural (Agency, 2018). Actualmente aproximadamente de 3.300 millones de personas habitan en ciudades. Con esto vemos que la ciudad ha adquirido protagonismo sobre el medio rural como centro social, político y económico de los territorios. Los núcleos de población cada vez son mayores. Se ha consolidado una jerarquía urbana que está presidida por lo que conocemos hoy en día como las grandes ciudades, núcleos de población de más de un millón de habitantes. Esto se explica muchas veces en que las personas encuentran en las grandes ciudades su válvula de escape de las precarias condiciones sociales y laborales que pueden vivir en el mundo rural.

Una de las principales problemáticas que se encuentran en estas grandes urbes es la mala calidad del aire, debido entre otros factores a la congestión del tráfico, agravado por el tipo de contaminante que se emite, y la relación directa de los efectos que dichos contaminantes provocan en la salud humana.

El transporte es un sector que contribuye de manera muy significativa a la polución, según la Agencia Medioambiental Europea, el transporte es el responsable de aproximadamente un 20% del total de emisiones de gases contaminantes en la Unión Europea. A pesar de estos datos, el sector del transporte es el único que ha mantenido un crecimiento sostenible de niveles de polución en comparación a los datos obtenidos en la década de los años 90. Dentro del transporte, el transporte por carretera es el principal emisor, aproximadamente emite un 70% del total. Estos datos motivan a la UE a aplicar políticas para reducir estos niveles, con el objetivo de reducir el nivel de emisiones un 30% en 2030, y hasta un 60% de reducción en 2050 en comparación con los datos de 1990, unas políticas que se analizarán durante el trabajo.

Por otra parte, desde marzo de 2020 transitamos la pandemia mundial causada por el Covid-19, que ha reducido la movilidad urbana y provocado una disminución de los viajes realizados en transporte público y los desplazamientos en general.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es analizar el efecto que ha tenido la pandemia sobre la polución en las ciudades europeas de más de 1 millón de habitantes, a través de su impacto en la movilidad urbana. El trabajo intenta asimismo identificar qué políticas de transporte destinadas a reducir la participación del vehículo privado en la movilidad urbana han sido más efectivas en el período post confinamiento. Esto es,



*Afectación del Covid en el transporte y la polución de las grandes ciudades europeas (+1.000.000 habitantes)*

cuál es la relación entre políticas de transporte que restringen los vehículos privados y polución en grandes ciudades en el contexto de una pandemia.

El trabajo tiene una gran relevancia científica, ya que no hay estudios previos. Asimismo, se podrán hacer recomendaciones de política pública para una posible próxima pandemia.

El tema siempre me ha llamado la atención y me ha parecido interesante, ya que, en las asignaturas cursadas durante la carrera de Economía del Transporte, con la profesora Valeria Bernardo, Transporte y movilidad sostenible con el profesor Dr. Jesús E. Martínez Marín y Estadística aplicada con el profesor Alfredo Smilges, he podido ver de cerca varias políticas de movilidad urbana y saber realizar un análisis comparativo estadístico.

## **1. Marco teórico**

Con el objetivo de poner en contexto el tema, se ha hecho una búsqueda en “*Google scholar*”, para encontrar artículos e investigaciones relevantes realizadas durante el período de la pandemia del Covid-19 (febrero 20- Actualidad), para profundizar en el tema. Además de la búsqueda de literatura, se complementa la información con datos y estudio de políticas públicas.

Se han realizado búsquedas con las palabras clave “*Covid private car use*”, “*Covid and pollution levels*”, “*low emissions zones*”, “*congestion tolls*” dentro de los criterios establecidos previamente de búsqueda.

He separado el marco teórico en cuatro principales bloques. En un primer momento se han analizado los principales contaminantes que encontramos en nuestras ciudades actualmente, sus niveles, sus fuentes de emisión y se ha analizado las mediciones de calidad de aire de estas ciudades. Seguidamente he hecho una radiografía de cómo está la situación a nivel de polución actualmente en toda Europa, y como la pandemia del Covid-19 ha cambiado por completo los niveles de polución, sobre todo durante el periodo de confinamiento. Se ha descrito las principales políticas de transporte que se están llevando a cabo a nivel europeo y cuál de ellas es la más eficaz. Finalmente se ve cómo ha cambiado la movilidad urbana con la aparición de la pandemia del Covid.

El objetivo principal es estudiar con los recursos mencionados anteriormente la interacción entre las políticas de transporte y la pandemia sobre la evolución de la polución en las grandes ciudades europeas de más de 1 millón de personas.

### **1.1. Contaminantes y situación económica.**

A continuación, se desgana cuáles son los principales contaminantes que podemos encontrar.

#### **1.1.1 Principales contaminantes**

Los principales contaminantes que se encuentran en las ciudades y que la OMS, en sus últimos informes, (World health organization, 2005) advierte de su peligrosidad para la salud humana, son las partículas contaminantes en suspensión (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>) y los contaminantes orgánicos persistentes (POPs), SO<sub>2</sub> (Dióxido de Azufre), NO<sub>2</sub> (Dióxido de Nitrógeno) que en concentraciones elevadas pueden ser perjudiciales para la salud

humana. Todos estos tipos de contaminantes son más comunes en ciudades de países en vías de desarrollo por el tipo de combustible y recursos energéticos que se utilizan. No sucede lo mismo en países desarrollados donde el tipo de contaminante cambia, en este caso los más importantes son PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> (Ozono). (Querol, 2018, pág. 19).

### **1.1.2. Clasificación de los contaminantes.**

Se pueden clasificar de dos tipos los contaminantes del aire según su origen, primario y secundario.

Los contaminantes de origen primario son contaminantes que sus emisiones se dirigen directamente a la atmosfera, en cambio los de origen secundario, son contaminantes que se forman a causa de reacciones y procesos químicos de varios elementos una vez en la atmosfera.

Los contaminantes más importantes de origen primario y los más comunes son, las partículas en suspensión (PM), carbón (BC), dióxido de azufre (SO) y el dióxido de Nitrógeno (NO).

Dentro de los de origen secundario, uno de los más importantes es el ozono troposférico (O<sub>3</sub>).

#### **1.1.2.1. Tipos**

- PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>. Partículas sólidas o dispersas en la atmosfera, con un diámetro de 2,5 hasta 10 μm (micrómetros). Básicamente estas partículas están formadas por materiales inorgánicos, como pueden ser los metales pesados. Las principales fuentes de este tipo de contaminante son la combustión por parte de los vehículos, la industria, la construcción o el comercio, el polvo en suspensión e incluso la quema de superficie forestal.
- SO<sub>2</sub>. Dióxido de azufre. La principal fuente de este contaminante es la combustión de carbón de grandes industrias, combustión de petróleo de los vehículos, por ejemplo, y también existen fuentes naturales como pueden ser las erupciones volcánicas y las aguas termales.
- NO<sub>2</sub>. Dióxido de Nitrógeno. Producido en gran parte por la combustión de los vehículos a motor, pero también se puede producir de manera natural, como por ejemplo en incendios forestales o en erupciones volcánicas, en menor medida.
- O<sub>3</sub>. Ozono troposférico. Se considera un contaminante secundario, es decir, no se produce directamente por la combustión de los vehículos, sino que se forma

en latitudes bajas de la atmosfera, por la reacción de la luz solar y otros contaminantes derivados del tráfico, centrales térmicas, etc.; eso sí, cuando las condiciones meteorológicas son estables (sin viento ni precipitación).

Es uno de los contaminantes que producen más muertos en las grandes ciudades.

- BC. Negro de carbón. Se considera un contaminante primario y sus emisiones surgen de la combustión incompleta de productos derivados del petróleo, madera o biomásas.
- CO<sub>2</sub>. Dióxido de carbono. sus emisiones provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles a la atmosfera.
- NH<sub>3</sub>. Amoníaco. Es un contaminante secundario y sus emisiones provienen principalmente de la actividad agrícola.
- CH<sub>4</sub>. Metano. Es un contaminante secundario y sus emisiones provienen principalmente de materia orgánica en descomposición, como puede ser materia que se encuentra en vertederos.

Según datos oficiales de emisiones europeas, (Agency, 2018) el transporte rodado es el principal productor de emisión de NO<sub>x</sub>, el segundo en PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>. Son datos relevantes ya que la fuente de emisión del contaminante está situada muy cerca del ser humano. Por ejemplo, la producción de partículas contaminantes en el aire en una ciudad como Barcelona producida por el tráfico, en términos de cantidad, puede ser similar la cantidad que produzca una central térmica ubicada a las afueras de Barcelona, incluso el tráfico rodado la cantidad puede ser inferior, pero la incidencia que tiene la producción de contaminante por parte del tráfico será más relevante que no la producción de contaminante por parte de la central térmica, debido a la proximidad con la población.

### **1.1.3. Medición de la calidad del aire**

Cuando se habla sobre calidad de aire a nivel europeo, las primeras directivas se sitúan de la década de los ochenta, donde se establecieron controles y datos límite para determinados contaminantes SO<sub>2</sub>, PM, NO<sub>2</sub>. Estas directivas no fueron muy eficaces, los datos que daban no eran muy precisos y por tanto no se actuaba de la manera correcta. Fue en el año 1996 cuando se creó la primera directiva eficaz en la Unión Europea en materia de medición de la calidad de aire y gestión de los contaminantes.

Se empezaron a instalar puntos de medición de contaminación por varios territorios de la UE, con el objetivo de recabar la información más precisa y real posible. Se definieron objetivos de calidad, niveles de concentración que no podían ser superados, y la información aportada por los Estados miembros se amplió, se crearon umbrales de alerta, etc. En el año 2001 se creó el programa CAFE (*Clean Air for Europe*), con el propósito de desarrollar una estrategia integrada a largo plazo para proteger la salud humana y el medio ambiente de todo el territorio de la UE. Finalmente, en el año 2008 se creó la Directiva 2008/50, relativa a la calidad del aire de Europa y una atmosfera más limpia.

La UE evalúa la calidad del aire de la siguiente forma. (Europeo, 2008)

- Instalación de un punto de muestreo cada 100.000 km<sup>2</sup>
- Cada estado miembro instalará al menos una estación de medición, para conseguir la resolución espacial necesaria. Cada estado dividirá su territorio en zonas y aglomeraciones (conurbaciones con población superior a 250.000 habitantes).
- La medición de todos los contaminantes excepto del ozono (O<sub>3</sub>) se hará de la misma forma. Se efectuarán mediciones de calidad del aire en puntos fijos tanto de las zonas como de las aglomeraciones, donde los niveles superen los umbrales del contaminante previamente establecidos. Estas mediciones fijas podrán complementarse con modelos de medición para mejorar el análisis.
- Para el O<sub>3</sub> el procedimiento se efectuará de otra forma. Las zonas o aglomeraciones, que en alguno de los últimos cinco años se hayan superado los niveles límites a largo plazo, el estado deberá llevar a cabo mediciones fijas de manera continua. Estas mediciones podrán complementarse con modelos. En caso de no superar los valores limite a largo plazo, este tipo de mediciones podrán ser de corta duración, en periodo y lugares determinados.

#### **1.1.4. Situación actual en Europa.**

Los datos que nos proporciona la AEMA (Agencia Europea sobre el Medio Ambiente) en su último informe, (Agency, 2020), nos permite hacer un análisis del nivel de polución actual (datos hasta el 2018) frente a los valores limite establecidos por las directivas europeas. Dentro del análisis se han elegido aquellos contaminantes que tienen problemas de cumplimiento con los límites que marca las directivas europeas, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>.

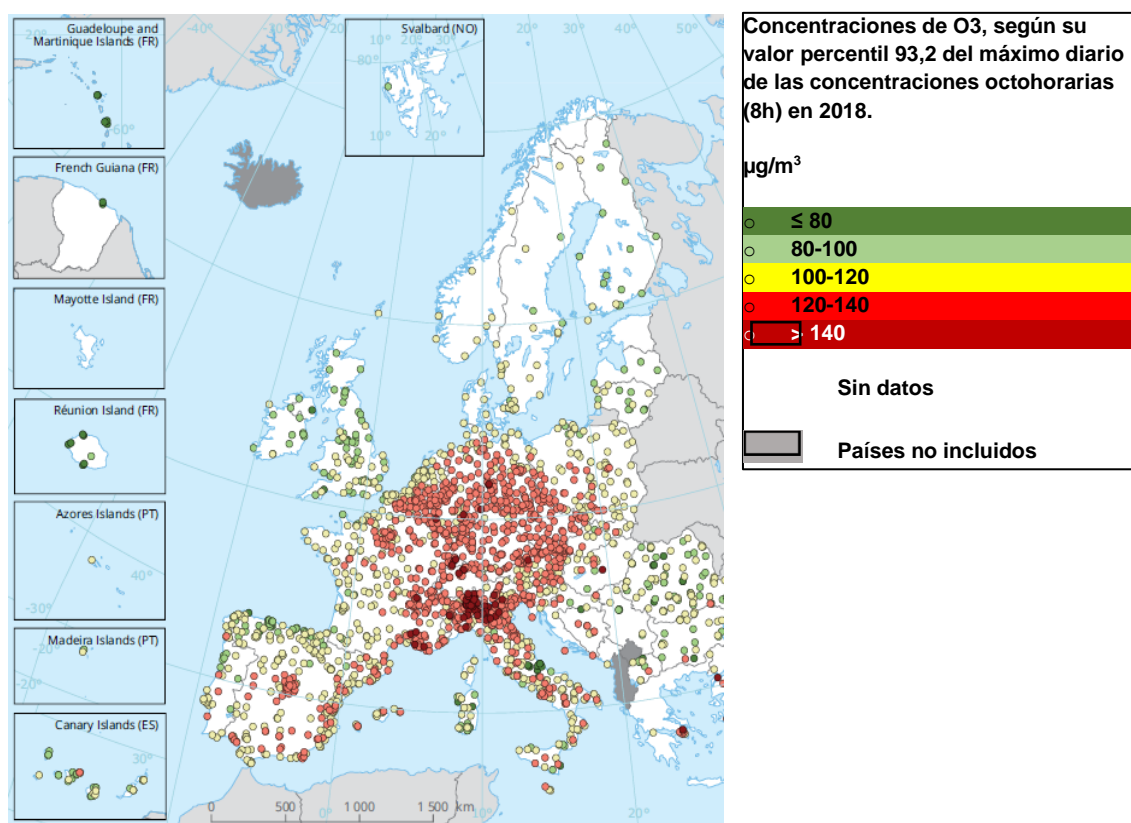
### Partículas en Suspensión (PM<sub>10</sub>)

A partir de los datos que nos proporcionan los valores límite diarios de PM<sub>10</sub>, en el año 2018, solo en seis países analizados se registraron valores límite superiores, esto se explica en que las mediciones que superan los límites diarios, son mediciones extraídas de estaciones en un entorno rural, donde los objetivos en reducción de partículas en suspensión no están tan controlados. Un ejemplo que puede elevar la concentración de PM<sub>10</sub> en un entorno rural son los incendios forestales, por ejemplo, los que afectaron a Grecia el año 2018.

### Ozono troposférico (O<sub>3</sub>)

Por lo que respecta a los valores de O<sub>3</sub> troposférico registrados en el año 2018 (Fig. 1), el informe concluye que las emisiones en ozono troposférico no se han reducido considerablemente. En concreto un 41% de las estaciones de mediciones registraron niveles por encima del valor de protección para la salud, y solo un 13% de las estaciones cumplían con los objetivos. Analizando el mapa se puede ver que es un problema generalizado a nivel europeo, pero la situación es especialmente problemática en los países del centro y este de Europa.

Figura 1. Concentraciones de O<sub>3</sub> en el año 2018

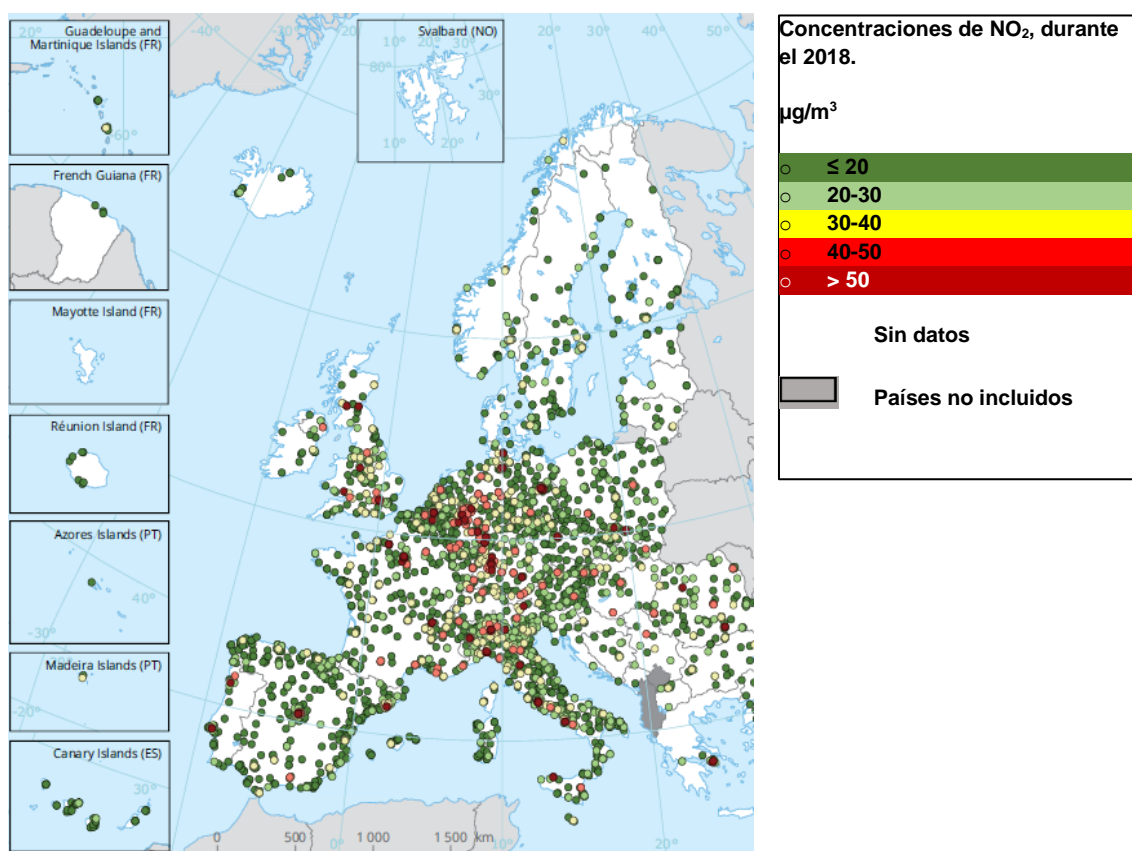


Fuente: EEA (European Environment Agency).

### Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

Los datos muestran que dieciséis países más tres países informantes registraron valores de NO<sub>2</sub> por encima de los límites establecidos, esto representa solo un 8% del total de estaciones. Como se puede ver estas estaciones están repartidas por toda Europa (Fig. 2), por lo tanto, no se puede considerar que es un problema localizado en una zona concreta. Haciendo un análisis del tipo de estaciones con registros más elevados, suelen ser estaciones de tráfico y están localizadas en zonas urbanas y suburbanas.

Figura 2. Concentraciones de NO<sub>2</sub> en el año 2018



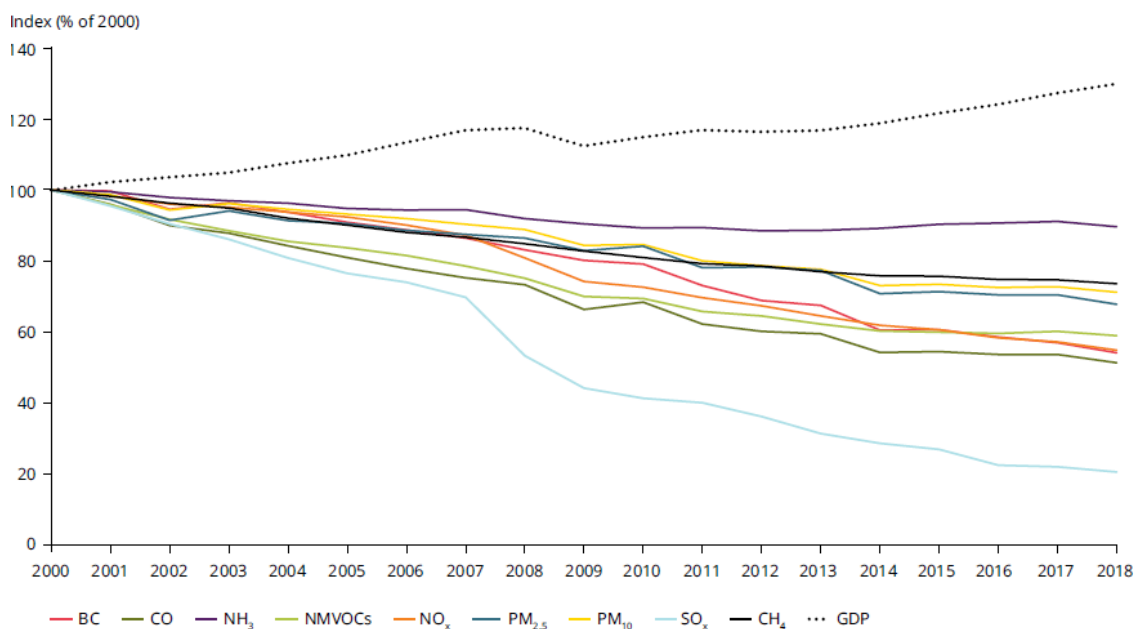
Fuente: EEA (European Environment Agency).

Se observa en la figura 3 la evolución de los distintos contaminantes a nivel europeo. En la misma se observa cómo desde el año 2000 los niveles de polución tienen una tendencia a la baja continua. Las directivas propuestas por la Comisión Europea están dando resultados. El valor que más destaca son los niveles de polución en SO<sub>x</sub> (azufre), que han experimentado una reducción alrededor de un 30%, sobre todo desde el año

2007. Esto se debe al cambio de tendencia que hay en el mercado y la utilización de combustibles más limpios para los procesos productivos.

Todo esto con el incremento constante del PIB de la UE, que muestra que la utilización de combustibles más limpios no afecta negativamente a las economías de los países.

Figura 3. Evolución en % de los principales contaminantes que encontramos entre el año 2000-2018



Fuente: EEA (2020), EUROSTAT (2020)



## **1.2. Transporte, polución y políticas públicas de movilidad**

A continuación, se estudian los principales sectores emisores de polución y como las ciudades establecen políticas públicas de movilidad con el objetivo de reducir los niveles de tráfico en las ciudades y reducir los niveles de polución elevados.

### **1.2.1. Principales sectores productores de polución.**

Los principales sectores productores de emisiones contaminantes son (Agency, 2020):

Sector del transporte, diferenciando el transporte por carretera y el que no es por carretera. Dentro del transporte por carretera se incluyen todo desplazamiento en coche, motocicleta, buses y camiones. Y cuando se habla de transporte que no es por carretera se tiene en cuenta el tren, metro, tranvía y avión.

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), el transporte por carretera es el que emite más cantidad, en concreto un 17,97% del total. A continuación, se encuentra el transporte marítimo de corta distancia (1,28%), transporte aéreo de larga distancia (0,7%), transporte marítimo internacional (0,61%), transporte aéreo de corta distancia (0,31%), y finalmente el transporte por ferrocarril es el que menos cantidad de CO<sub>2</sub> emite (0,11%). El porcentaje restante es producido por otros sectores como el industrial o el doméstico.
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el total de emisiones es superior al dióxido de carbono, se observa (Tabla 1), que el principal emisor es el transporte por carretera, representando un 28% del total de emisiones de este contaminante. Por detrás se encuentra el transporte marítimo internacional, junto con el transporte aéreo internacional, representando un 14 y un 6% respectivamente. Finalmente, en menor medida se encuentra el transporte marítimo y aéreo de corta distancia y en última posición el transporte ferrocarril.
- Partículas en suspensión (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>), dentro del total de emisiones del sector del transporte, se observa que el porcentaje más elevado corresponde al transporte por carretera tanto de mercancías como de pasajeros, es el principal emisor de partículas en suspensión en las grandes ciudades, por ejemplo a causa del contacto continuo con el asfalto, seguido por el transporte marítimo internacional, y en menor medida por el transporte aéreo y ferrocarril, que de los modos de transporte más utilizados son los que menos contaminan.

- Dióxido de azufre (SO<sub>x</sub>), se aprecia la importancia que tiene el transporte aéreo de largo recorrido en las emisiones de dióxido de azufre, corresponde al 10% de emisiones del total de emisiones de este contaminante. De forma testimonial se encuentran los otros modos de transporte, que emiten muy poca cantidad.

Analizando los datos se puede llegar a varias conclusiones, el transporte terrestre ligero es el modo de transporte más contaminante, se incluye el transporte terrestre de corto alcance (vehículos privados, furgonetas, motocicletas, autobuses urbanos), toda la circulación de vehículos que encontramos en las grandes ciudades, es el que peores datos aporta y se debería actuar de forma inmediata, con el objetivo de reducir esta cantidad de emisiones de contaminantes. A continuación, se encuentra el transporte terrestre pesado o de largo alcance, aquí se encuentran el transporte de mercancías fuera de las aéreas urbanas, y se observa que existe una gran diferencia entre el tráfico de corto alcance.

Los otros modos de transporte principales (transporte marítimo, transporte aéreo y transporte por ferrocarril), se refleja que son menos contaminantes que el transporte por carretera, pero que, por ejemplo, el transporte aéreo doméstico o de corto radio, no sale muy rentable a nivel de emisiones, ya que es un transporte muy contaminante si no se supera un mínimo de kilómetros. Finalmente, el transporte por ferrocarril es el menos contaminante de los estudiados, a pesar de los buenos datos, su utilización es muy menor que el resto de modos de transporte analizados. De los contaminantes analizados, el sector del transporte destaca principalmente por el elevado grado de contaminación que tiene en dióxido de nitrógeno, derivado principalmente de la combustión de los motores de los vehículos que funcionan con combustibles fósiles, que actualmente son la mayor parte.

Sector residencial, comercial e institucional, se analiza el nivel de polución que proviene de los hogares, organismos públicos, instituciones. El indicador clave es el consumo final de energía por parte del consumidor en servicios comerciales o públicos.

Sector energético. Se analizan las emisiones generadas por las empresas productoras de energía en su actividad, es decir, el nivel de contaminación que emiten cuando extraen materia prima para la producción de energía comparándolo con el total de energía que obtienen.

Sector industrial. Incluye las emisiones producidas por la industria durante los procesos de fabricación.

Sector agrícola. Análisis de las emisiones producidas por las actividades agrícolas de cada uno de los Estados Miembros. Principalmente emisores de metano.

Gestión de las aguas residuales. Análisis de las emisiones derivadas de la gestión de aguas residuales y aguas sucias.

### **1.2.2. Principales políticas urbanas que adoptan las ciudades.**

El uso del vehículo privado genera distintas externalidades negativas como son la congestión y la polución. De la congestión se deriva los numerosos atascos en las calles, que afectan directamente a los niveles de polución, aumentándolos considerablemente, es decir ambas variables se relacionan positivamente, a mayor congestión, mayor es el nivel de polución. En este sentido, el coste económico que provoca la polución en las ciudades es muy elevado, por ejemplo, se produce un aumento de los problemas de salud por parte de la ciudadanía, la productividad laboral se ve afectada, etc.

En este sentido la UE está acelerando en el despliegue de encontrar alternativas de transporte de bajas emisiones para mejorar el sistema actual de transporte y avanzar hacia la utilización de vehículos con cero emisiones y disminuir la participación del vehículo privado en la movilidad urbana. Es por eso que las administraciones tienen un papel muy relevante, son las responsables de implementar estas nuevas formas de transporte e incentivar al ciudadano que las utilice. Un ejemplo sería los sistemas de “*congestion tolls*” más conocidos como peajes urbanos, que se están utilizando actualmente en algunas ciudades europeas y que reducen los niveles de tráfico en los centros de las grandes ciudades de forma considerable, al mismo tiempo que han resultado también efectivos para reducir la polución.

A continuación, se analizan dos políticas de transporte utilizadas para reducir la polución y la congestión, un sistema basado en la cantidad y el otro basado en el precio.

#### **1.2.2.1. Low Emissions Zones**

La zona de bajas emisiones (ZBE) se considera un sistema cuantitativo, destinado a reducir la demanda de transporte, prohibiendo el acceso de determinados vehículos a una zona concreta, con el objetivo de reducir los niveles de polución de esa zona en

concreto. A diferencia de los sistemas de peajes que se aplican a todo tipo de vehículos, las ZBE, se aplican a los vehículos más contaminantes, prohibiendo su circulación.

Su eficacia dependerá en gran modo de la extensión de estas zonas, como más grande sea, mayor incidencia tendrá. Se ha observado que la implementación de ZBE en las grandes ciudades, es más efectiva a la hora de reducir los niveles de polución que no en reducir las congestiones de tráfico. Por ejemplo, la implementación de una ZBE en una ciudad donde el parque automovilístico es moderno, la eficacia de esta medida no es muy alta, en cambio en ciudades donde la mayoría de los vehículos son antiguos, sí que da unos resultados relevantes. (Bernardo, Fageda, & Flores-Fillo, 2021)

La implementación de la ZBE es efectiva, los estudios en Alemania muestran una reducción de los niveles de PM<sub>10</sub> de alrededor de un 2 a un 4%. Al mismo tiempo reducen en 3, los días de media anuales que se superan los límites de polución legales. (Gehrsitz, 2017). Otro caso de efectividad también se encuentra en Alemania, en concreto en la ciudad de Múnich. En este caso las LEZ se implementaron en 2008 y la reducción de partículas en el aire PM<sub>10</sub> es significativa respecto a los años donde no tenían este sistema, en los meses de verano, se ha producido una reducción del entorno de un 13 a un 19% y un 7% durante el invierno. (Fensterer, V., Küchenhoff, H., Maier, V., Wichmann, H. E., Breitner, S., Peters, A., ... & Cyrus, 2014). Si vemos el caso de los Países Bajos, la implementación de las LEZ en varias ciudades supuso una reducción de los niveles de PM<sub>2,5</sub> de alrededor de un 27 hasta un 30%, y la reducción del nivel de tráfico en áreas urbanas, se disminuyó alrededor de un 50%. (Boogaard, H., Janssen, N. A., Fischer, P. H., Kos, G. P., Weijers, E. P., Cassee, F. R., ... & Hoek, 2012). (Panteliadis, P., Strak, M., Hoek, G., Weijers, E., van der Zee, S., Dijkema, 2014)

#### **1.2.2.2. Congestion Toll.**

Este sistema se basa en incrementar el precio de transporte a los vehículos que quieran acceder a zonas limitadas, normalmente en el centro de las ciudades, con el objetivo de reducir la congestión en un área determinada. Se trata de un sistema de impuestos pigouvianos, es decir, se cobra una tasa para corregir la externalidad que se produce, en este caso la congestión de tráfico.

Hay un amplio consenso que este tipo de medida es efectiva para hacer frente a las externalidades relacionadas con el uso del vehículo privado en las ciudades y disminuir su efecto. A pesar de todo esto, es difícil establecer unos sistemas de peajes eficientes, hay que tener en consideración muchas variables, (precio del peaje, delimitar la zona donde se aplicará esta restricción, establecer las exenciones de vehículos, etc.) es por

eso que muchas veces son decisiones políticas las que acaban determinando este tipo de variables. A la hora de establecer un sistema de peaje urbano, es muy importante que la zona donde se realizará esta restricción, la oferta de transporte público sea muy buena y eficiente.

Teniendo en cuenta todas estas dificultades, está demostrado que implementar un sistema de estas características es positivo, es eficiente en el objetivo de reducir tanto los niveles de congestión como los niveles de polución en las zonas donde se implementa desde su puesta en funcionamiento. Un ejemplo lo encontramos en las ciudades de Londres y Estocolmo, con la implementación de los peajes urbanos, la congestión de tráfico se redujo entre un 20% 30%. (Bernardo et al., 2021), y si hablamos de niveles de polución, en la ciudad de Estocolmo, los niveles se redujeron entre un 5% - 15%, provocó que los problemas médicos que sufrían sus ciudadanos a consecuencia de la alta polución como por ejemplo ataques asma en gente joven, el número se redujo considerablemente. (Simeonova, Currie, Nilsson, & Walker, 2018).

A modo de conclusión se puede decir que las ZBE son más eficientes cuando la proporción de vehículos contaminantes es más elevada, en consecuencia, es más efectivo en reducir la polución que no en reducir los niveles de congestión.

De otro modo hay que decir, que los sistemas de peajes urbanos son más eficientes en reducir las dos problemáticas, la polución y la congestión, en ciudades donde la flota de vehículos está renovada y los niveles de polución son bajos. A pesar de todo esto, será cada ciudad con sus propias características, que implementará un sistema u otro más eficaz para reducir las externalidades.

A nivel europeo, el sistema más utilizado por las ciudades es el de las ZBE, coincide en que la prioridad por estas ciudades es la de reducir los niveles de polución y no tanto los niveles de congestión, y se percibe mejor por el ciudadano aplicar estos sistemas cuantitativos que no subir los precios del transporte o aplicar peajes en los centros de las ciudades.

### **1.3. Covid, transporte y polución.**

Con la aparición de la pandemia del Covid-19, los gobiernos establecieron restricciones para frenar la propagación del virus, una de ellas fue la movilidad personal, que se limitó considerablemente. Esto provocó un descenso muy importante en la actividad económica y concretamente en el sector del transporte, fue uno de los sectores más afectados. A consecuencia los niveles de polución en las grandes ciudades experimentaron unos descensos sin precedentes hasta la fecha, y a la vez provocó una mejora en la calidad del aire.

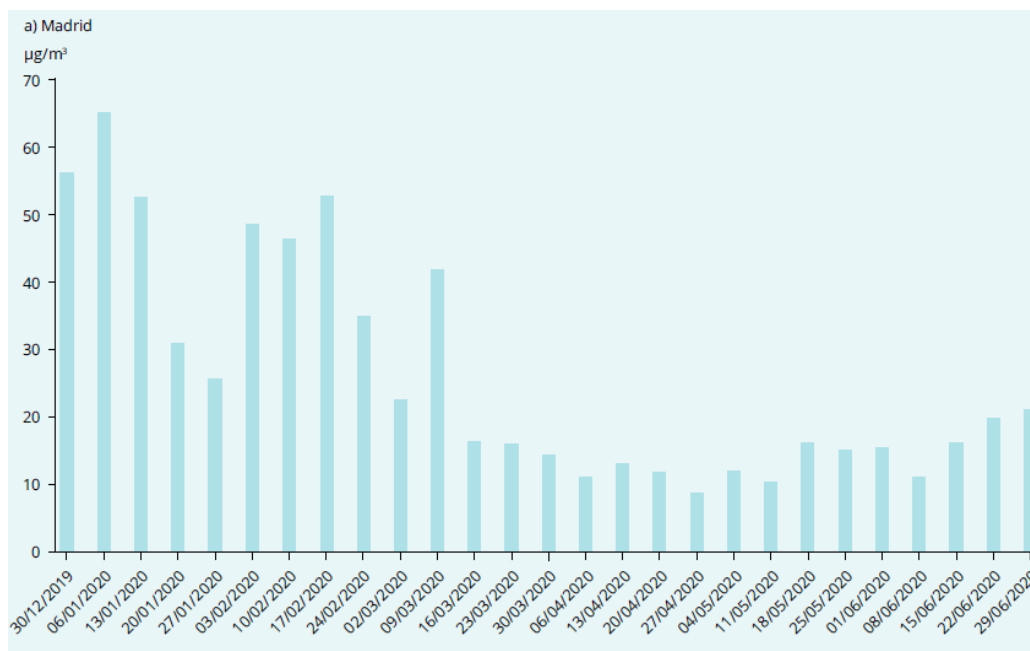
#### **1.3.1. Afectación del COVID-19 en los niveles de polución.**

El NO<sub>2</sub> es el contaminante emitido por los tubos de escape de los automóviles, por lo que su evolución está directamente ligada a las emisiones del tráfico motorizado, siendo este la mayor fuente que tiene y uno de los principales elementos que afectan a la calidad del aire de las grandes ciudades.

Des de la declaración del estado de alarma, se produjo una reducción drástica de los niveles de NO<sub>2</sub> en las principales ciudades españolas. Se calculo aproximadamente una reducción de un 55%, eso sí, en unas condiciones extremas, como son las del mes de marzo del 2020, que hasta ahora esas condiciones tan restrictivas no se han repetido. A pesar de todo la mejora en la calidad del aire que se experimentó fue una mejora general, tanto en las grandes ciudades como en las periferias, se obtuvieron los mejores datos en contaminación de la última década, y ciudades como Madrid o Barcelona no superaron los valores límites de contaminación que marca la OMS, unos valores que ambas ciudades superan sistemáticamente al largo del año. (Acción, 2020)

En este sentido en la figura 4 se puede observar la diferencia de emisiones que existe durante los seis primeros meses del 2020, periodo donde se encuentran las semanas de confinamiento en España. Se observa durante los meses de enero y febrero que la concentración en NO<sub>2</sub> es similar a otros años, pero a partir de la segunda parte del mes de marzo hay un cambio sustancial en concentración de NO<sub>2</sub>,

Figura 4. Evolución semanal de concentración de NO<sub>2</sub> en Madrid, entre enero y junio del 2020.



Fuente. European Environment Agency. 2020

A modo de conclusión se puede decir que los países donde las medidas para frenar la pandemia fueron más duras, es el caso de España, Italia, Francia, las diferencias de emisiones en NO<sub>2</sub> respecto a años anteriores fueron sustanciales, en cambio otras zonas europeas como puede ser el centro y oeste del continente donde las densidades de población son menores y no hubo medidas tan restrictivas, las diferencias no fueron tan importantes.

### 1.3.2. Incremento uso vehículo privado.

Según los expertos, el uso del vehículo privado se ha incrementado en las grandes ciudades con la aparición de la pandemia, debido a varios factores, como, por ejemplo, la distancia social de 2 metros entre personas, el miedo a contagiarse de las personas en el transporte público, o la reducción del aforo de pasajeros para evitar contagios, son algunos de los efectos que han llevado a este incremento de uso del vehículo privado, sobre todo vehículos de dos ruedas, como pueden ser motocicletas o bicicletas.

La DGT (Dirección General de Tráfico), destaca en su último informe que aproximadamente el 20% de personas que iban trabajando con transporte público se están planteando empezar a usar el vehículo privado como modo de transporte, para desplazarse. Un 90% de las personas encuestadas preferiría buscar una ruta alternativa para evitar los atascos en el tráfico que no utilizar el transporte público.

Este incremento conlleva unos problemas muy importantes a las grandes ciudades, ya que el aumento de vehículos provoca más congestión en el tráfico y un aumento de los niveles de contaminación. Es por eso que desde el gobierno central, se quiere diseñar un sistema de transporte seguro y coordinado y que respete todas las medidas anti-covid que están actualmente en vigor. (Pareja, 2020).

#### **1.4. Conclusiones marco teórico**

Una vez trabajado todos los datos se puede determinar que el transporte por carretera es el medio de transporte que más aporta en emisiones de CO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub>. A pesar de todas las restricciones de este último año, el nivel de emisiones del transporte por carretera ha seguido aumentando, y seguirá aumentando tal y como he explicado en el trabajo como el uso del vehículo privado se ha visto incrementado en esta época post-pandemia.

Los estudios previos sobre políticas de movilidad urbana son eficaces en reducir la polución, en particular de los contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y las partículas en suspensión, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.

Con la pandemia del Covid-19, por una parte, los niveles de polución han experimentado un descenso por el aumento del teletrabajo y la disminución de la movilidad urbana, pero, por otra parte, el uso del transporte público se ha visto reducido y en consecuencia el uso del vehículo privado ha aumentado considerablemente en las zonas urbanas. En el periodo post-confinamiento los datos han vuelto a ser normales como en periodos sin confinamientos, es decir, las ciudades vuelven a tener niveles de polución elevados y los sistemas de teletrabajo que están implementando las empresas no acaban de funcionar. Los niveles de congestión de tráfico en las grandes ciudades siguen siendo similares que en épocas sin pandemia.

La crisis del COVID-19 demuestra que la reducción estructural del tráfico motorizado en las grandes ciudades es la mejor herramienta para mejorar la calidad del aire en las grandes ciudades. La situación extrema que se ha vivido durante la pandemia viene a corroborar lo que la comunidad científica viene insistiendo durante años y es que la reducción del tráfico en las grandes ciudades tiene claros efectos en la disminución de la contaminación y en la mejora de la salud de sus habitantes.



## **2. Objetivos**

### **Objetivos Generales**

- Estudiar la evolución de la calidad del aire en las ciudades europeas de más de 1 millón de habitantes con la pandemia del Covid-19 en la etapa de confinamiento y en la de post-confinamiento
- Estudiar la efectividad de las políticas de transporte para contener la polución en las grandes ciudades europeas de más de 1 millón de habitantes en un contexto de pandemia.

### **Objetivos específicos**

- Hacer un análisis comparativo de la evolución de la polución en las ciudades antes del confinamiento, durante y después del mismo. En concreto, de los contaminantes PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>.
- Analizar si la cantidad de PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>. ha aumentado menos después del confinamiento en aquellas ciudades que han implementado peajes de congestión o zonas de bajas emisiones.

## **3. Hipótesis**

**H1. La pandemia del Covid 19 ha producido un cambio de mentalidad y ha provocado un descenso de la contaminación.** Esta hipótesis surge una vez analizados los datos, he observado que muchas ciudades una vez pasado la peor época de la pandemia del Covid 19 han experimentado un descenso en sus niveles de contaminación. (Malina, C., Scheffler, 2015)

**H2. Son las LEZ el mejor sistema para reducir la polución en las ciudades analizadas.** Basándome en la literatura estudiada analizando los diferentes tipos de políticas de transporte en las ciudades analizadas. (Bernardo, V., Fageda, X., & Flores-Fillol, 2020)

#### **4. Metodología y datos**

En este apartado se presenta la metodología utilizada en este trabajo para analizar los niveles de polución de nueve ciudades europeas durante el periodo mayo 2019 y diciembre 2020 con el confinamiento provocado por la pandemia en el medio.

El objetivo del presente trabajo es analizar el efecto que ha tenido la pandemia sobre la polución en las ciudades europeas de más de 1 millón de habitantes, a través de su impacto en la movilidad urbana. El trabajo intenta asimismo identificar qué políticas de transporte destinadas a reducir la participación del vehículo privado en la movilidad urbana han sido más efectivas en el período post confinamiento. Esto es, cuál es la relación entre políticas de transporte que restringen los vehículos privados y polución en grandes ciudades en el contexto de una pandemia.

Las ciudades europeas que se analizan en este estudio son Berlín, Madrid, Roma, Paris, Hamburgo, Varsovia, Barcelona, Milán y Londres. para las que se utilizan datos mensuales de,  $PM_{10}$  y  $NO_2$  y  $O_3$  durante el período mayo 2019- diciembre 2020 (ver anexos). Durante el período bajo análisis se puede identificar una etapa pre-pandemia, el período de confinamiento, y un período post-confinamiento.

Para identificar los efectos de la pandemia sobre la polución y el efecto diferenciado de cada una de las políticas aplicadas, se realiza primero un estudio estadístico que permite observar el comportamiento de en cada una de las ciudades antes, durante el confinamiento y luego del mismo. En el mismo se incluye el análisis de la media por contaminante por mes, un análisis de las correlaciones entre políticas de transporte y polución por períodos, y un análisis gráfico. Para medir la correlación se utiliza el coeficiente de Pearson. De esta forma, se presenta cuál es la evolución de la calidad del aire por período, la afectación del confinamiento y el grado de relación existente entre cada una de las políticas y la calidad del aire, por período.

En un segundo paso, se realiza un análisis econométrico con el fin de identificar si existe una relación de causalidad entre calidad del aire y confinamiento, y, calidad del aire y políticas de transporte post pandemia, Con el presente análisis se intenta responder cómo impactan las distintas políticas de transporte aplicadas en las ciudades sobre la polución, luego del confinamiento acaecido durante los meses de marzo a junio de 2020.

La variable dependiente utilizada en este estudio (*outcome*) es la *Polución*. En concreto, se analiza la calidad del aire respecto a 2 contaminantes:  $Pm_{10}$ , (partículas en suspensión de 10 micrómetros) y  $NO_2$  (dióxido de nitrógeno).

En el análisis de regresión se incluyen asimismo variables de control, que son otras variables independientes que explican la evolución de la calidad del aire en las ciudades.

Estas variables se expresan en forma de logaritmo, de esta manera su análisis es más fácil y entendedor al expresar los resultados en %.

En este sentido, siguiendo la literatura previa, las variables independientes o de control que se incluyen son:

- Número de habitantes por ciudad.
- Renta de la población.
- Si tiene implementada una zona de LEZ (*Low Emission Zone*).
- Si tiene implementada una zona de CT (*Congestion Toll*).
- Si se produjo un confinamiento total o no.
- Que ha pasado después del confinamiento con una ciudad que tiene implementada una LEZ
- Que ha pasado después del confinamiento con una ciudad que tiene implementado un sistema de CT.

Se presenta a continuación la ecuación que se estima.

Polución  $i, t = \alpha + \text{número de habitantes } i, t + \text{renta } i, t + \beta_1 \text{ LEZ } i, t + \beta_2 \text{ CT } i, t + \beta_3 \text{ Confinamiento total o no} + \beta_4 \text{ LEZ después del confinamiento } i, t + \beta_5 \text{ CT después del confinamiento } i, t + \varepsilon_{i,t}$ .

Donde el nivel de polución  $A$  en la ciudad  $i$  y en el mes  $t$  es en función de las variables descritas anteriormente.

La fórmula planteada indica que la "Polución  $i, t$ ", es la variable resultado en la ciudad  $i$  y en el momento  $t$ . En la ecuación hay las variables independientes que complementan el análisis, por ejemplo, el número de habitantes, renta, y las variables dicotómicas o ficticias como, LEZ (*Low Emission Zone*)  $i, t$ , CT (*Congestion Toll*),  $i, t$ , como se comporta la polución en las ciudades que tienen una LEZ después del confinamiento, y como se comporta la polución en las ciudades que tienen CT después del confinamiento. Se denominan dicotómicas porque son variables discretas, es decir, se dispone o no se dispone de una *Low Emission Zone*, dos opciones, o si o no, no hay un término medio.

La base de datos es una base de datos de panel, es decir, recoge observaciones sobre distintas ciudades a lo largo de un determinado periodo. En este sentido, como se menciona con anterioridad, los datos utilizados son observaciones de 9 ciudades, Milán, Roma, Berlín, Madrid, París, Viena, Hamburgo, Londres y Barcelona.

Para llevar a cabo la parte práctica se utiliza un panel de datos donde se ponen todas las variables mencionadas anteriormente, durante todo el periodo analizado. Las variables dicotómicas como (LEZ) se coge el valor "1", si la ciudad en concreto dispone de las políticas de movilidad, o 0 si no dispone de esa variable en concreto. Del mismo modo pasa con la variable Confinamiento total de la población, y así sucesivamente por las 9 ciudades analizadas. De esta forma, por ejemplo, el coeficiente beta 1 recoge el impacto de las LEZ sobre la polución.

El software estadístico utilizado es el Stata.

Para realizar la investigación se utilizan los datos de, *The World Air Quality Project*, informe de origen chino sobre la calidad del aire en diferentes ciudades de todo el mundo. En este caso los datos utilizados, se sitúan entre mayo de 2019 y el mes de diciembre de 2020.

De la base se obtienen los datos mensuales de, PM<sub>10</sub>, NO<sup>2</sup>, O<sup>3</sup>, de las distintas ciudades de muestra.

Los datos de población se han obtenido de las Naciones Unidas, concretamente en el informe anual de población que registra la organización, donde se recoge la cantidad de población en las diferentes ciudades analizadas. Los datos sobre las rentas se han extraído del Eurostat, en su informe anual del año 2020.

Los datos sobre que políticas de transporte llevan a cabo las ciudades, son extraídos del portal web *Urban Access Regulations, CLARS (Charging, Low Emission Zones, other Access Regulation Schemes)*. *It is provided by Sadler Consultants Ltd. and supported by the European Union*, portal web de la Comisión Europea donde se realiza un amplio análisis sobre qué política de transporte están aplicando las diferentes ciudades de la Unión Europea para reducir los niveles de polución.

A continuación, se presentan las ciudades incluidas en la muestra y las políticas de transporte que se aplican en cada una de ellas.

- **Berlín.** Capital de Alemania con un total de 3,6 millones de habitantes. Actualmente tiene un vigor dos zonas de bajas emisiones. La primera que engloba toda la ciudad, instaurada el año 2010, permite la circulación de vehículos Diesel Euro 4 (vehículos diésel matriculados a partir del 1 de enero de 2006) o vehículos con la etiqueta verde. Y una segunda zona más restrictiva limitada a pocas calles del centro, instaurada el año 2019, solo permite la

circulación de vehículos diésel euro 6 (vehículos matriculados a partir del 1 de septiembre del 2015).

- **Madrid.** Capital de España con un total de 3.2 millones de habitantes. Hay tres modalidades que se aplican actualmente en Madrid en materia de control y reducción de circulación por la ciudad.

- ZBE “Madrid Central”. En el año 2018, Madrid instauró una zona de restricciones al tráfico conocida como Madrid Central. Esta zona abarca gran parte del centro de la ciudad. Para poder circular por ella es necesario disponer del distintivo medioambiental del vehículo, una normativa del gobierno español que clasifica los vehículos en función de sus emisiones.

Las restricciones son las siguientes,

- Los vehículos con un distintivo medioambiental de 0 Emisiones podrán circular y estacionar en zona SER (Servicio de Estacionamiento Regulado) sin ninguna restricción horaria.
  - Los vehículos que dispongan de un distintivo medioambiental ECO, podrán circular y estacionar en zona SER en un horario regulado de máximo 2 horas durante todo el día.
  - Los vehículos que dispongan de distintivo medioambiental C o B solo podrán acceder a la zona de bajas emisiones para estacionar a un parquin de uso público o a un garaje privado.
- Restricciones para vehículos pesados. Los vehículos pesados que superen las 12 toneladas de peso no podrán acceder durante los días laborales y festivos dentro la zona de Madrid Central, entre las 7.00 y las 22.00 horas.  
Los vehículos pesados que superen las 18 toneladas de peso no podrán acceder ni a la zona de Madrid Central ni a la circunvalación M-30 que envuelve toda la ciudad durante los días laborales y festivos entre las 7.00 y las 22.00 horas.
  - Protocolo de emergencia en Madrid. Desde octubre del 2018, en episodios de alta contaminación se llevan a cabo una serie de restricciones en la circulación con el objetivo de mejorar la calidad del aire.

- **Roma.** Capital de Italia con un total de 2.8 millones de habitantes.  
En el año 2013, Roma instauró su zona de bajas emisiones “Zona Traffico Limitato”, que abarca una zona operativa de 5,5 km<sup>2</sup> en el centro de la ciudad.
  
- **Paris.** Capital de Francia con 2.1 millones de habitantes. Paris dispone de tres protocolos diferentes para regular la circulación con el objetivo de mejorar la calidad del aire de la ciudad. Dentro los diferentes métodos, París principalmente utiliza las Zonas de Bajas emisiones para regular la circulación. Estos protocolos clasifican los vehículos en función del distintivo de calidad del aire de cada uno de ellos. Hay un total de 6 certificados de calidad del aire que clasifican a los vehículos según su nivel de emisiones y permiten o no la circulación de dichos vehículos por una zona u otra de la ciudad, estos certificados están basados en los estándares Euro que marca la Unión Europea. Como más alto sea el distintivo, más alto será el nivel de polución del vehículo y más restricciones tendrá a la hora de circular.
  
- **Hamburgo** y su conurbación urbana, con un total de 1.7 millones de habitantes. El método que utiliza para regular el tráfico es la instauración de Zonas de Bajas emisiones que se empezó a aplicar en el año 2018. Solo permite la circulación de vehículos que cumplan con el estándar de Euro 5, y concretamente en dos calles, la circulación solo está permitida por vehículos Euro 6.
  
- **Varsovia.** Capital de Polonia con 1.7 millones de habitantes. El método para controlar la circulación es la regularización del tráfico en toda la ciudad a partir de unos números de identificación, es decir las matrículas de cada uno de los vehículos.
  
- **Barcelona.** Ciudad española con un total de 1.7 millones de habitantes. Principalmente tiene dos métodos para regular el tráfico por la ciudad, las conocidas como “super-islas” y las zonas de bajas emisiones.
  - Super islas. Solo se permite la circulación de vehículos que sean residentes (previamente identificados con su número de registro) o que no superen las 5,5 toneladas de peso. Además, la velocidad máxima de estas zonas está limitado a los 10 km/h.

- Zonas de bajas emisiones. Des del 1 de enero de 2020 se han instaurado las zonas de bajas emisiones en Barcelona, concretamente abarca una zona de 92 km<sup>2</sup> en el centro de la ciudad. Actualmente solo pueden circular vehículos que dispongan del distintivo medioambiental B, es decir vehículos diésel euro 4, vehículos gasolina euro 3 y motocicletas Euro 2. Estas restricciones solo se aplican de lunes a viernes des de las 7 de la mañana a las 20.00h.  
Los vehículos eléctricos no tienen ningún tipo de restricción.
  - En episodios de alta contaminación la circulación está prohibida por todo aquel vehículo que no tenga el distintivo medioambiental correspondiente.
- **Milán.** Ciudad italiana con 1.3 millones de habitantes.  
Milán lleva a cabo dos métodos para regular la circulación de los vehículos en la ciudad, las zonas de bajas emisiones y los peajes urbanos. (Comission, 2020)
- Área C, combina los dos métodos, es necesario un pagar una tasa para poder acceder a la zona restringida y además solo los vehículos menos contaminantes podrán acceder a ella. Los vehículos eléctricos e híbridos pueden acceder de forma libre y gratuita a la zona. El área C engloba toda la parte del centro de Milán.  
El coste de las tasas para acceder dependerá del tipo de vehículo con el que se quiera entrar, por ejemplo, para acceder un solo día los vehículos diésel, gasolina, bifuel y dual fuel, deberán abonar la cantidad de 5€, vehículos residentes 2€ y vehículos de servicios 3€. Todos estos costes deberán llevar también un registro previo de acceso.
  - Área B. Complementa el área C y restringe el acceso a los vehículos más contaminantes y vehículos de grandes dimensiones. Solo pueden acceder en esta zona los vehículos diésel Euro 5, y los vehículos gasolina Euro 2.
- **Londres.** Capital del Reino Unido, con un total de 8.98 millones de habitantes.  
Londres dispone de varios métodos para regular la circulación en la ciudad.
- Zona de Bajas Emisiones en toda el área metropolitana de Londres, conocida como *Ultra low emission Zone*. Todo tipo de vehículo puede entrar en la ciudad, pero debe pagar una tasa para poder acceder a la zona delimitada.

- Tarifa por congestión, para acceder a una zona concreta del centro de la ciudad es necesario abonar una tarifa para poder circular.
- Control de acceso a vehículos pesados.
- Restricción de circulación a autobuses que no sean transporte público de la ciudad.
- Zona de bajas emisiones en los distritos de Islington y Hackney.
- Zona de bajas emisiones que solo permite el acceso a transporte público con un estándar mínimo Euro 6.
- Zonas de bajas emisiones en el centro histórico y financiero de la ciudad.

(Green, C.P., Heywood, J.S., Navarro, 2016)

Tabla 1. Comparación entre las ciudades de muestra sobre qué tipo de restricción aplican

<b>CIUDAD</b>	<b>HABITANTES (MILLONES)</b>	<b>LEZ</b>	<b>AÑO</b>	<b>CONGESTION TOLL</b>	<b>AÑO</b>	<b>OTROS METOD.</b>
BERLÍN	3,6 M	X	2010	-	-	-
MADRID	3.2 M	X	2018	-	-	-
ROMA	2,8 M	X	2013	-	-	-
PARIS	2.1 M	X	2016	-	-	-
HAMBURGO	1.7 M	X	2018	-	-	-
VARSOVIA	1.7 M	-	-	-	-	ID Numbers
BARCELONA	1.7 M	X	2020	-	-	-
MILÁN	1.3 M	X	2020	X	2020	-
LONDRES	8.98 M	X	2019	X	2003	-

Fuente: Elaboración propia.

El presente trabajo intenta analizar la interacción entre las políticas de transporte y la pandemia sobre la evolución de la polución en las grandes ciudades europeas de más de 1 millón de personas.



## 5. Resultados

### 5.1 Análisis descriptivo

En la base de datos utilizada, se muestran las variables descriptivas por cada una de las ciudades analizadas. Se puede observar los datos de contaminación mensuales tanto de PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> de cada una de las ciudades en el periodo mayo de 2019 – diciembre 2020. A parte se ha añadido las variables descriptivas de población, renta, que política de transporte utilizan y si hubo confinamiento total o no, estas variables ayudan a mejorar el análisis. En total para realizar la base de datos, he utilizado 180 variables de contaminación ya que se han seleccionado los datos más interesantes para realizar el trabajo. Todos los análisis se han realizado con el programa Stata.

A continuación, en la tabla 2 se muestra la media del periodo analizado de las principales variables descriptivas del análisis utilizadas en las regresiones. Se constata el número de observaciones por toda la muestra, la mediana, la desviación estándar y los valores mínimo y máximo por cada una de las variables estudiadas.

Podemos observar como la media de niveles de PM<sub>10</sub> se sitúa a los 21,26 µg/m<sup>3</sup>, unos valores que se sitúan por debajo de los valores límite que marca la UE, que están en los 30 µg/m<sup>3</sup>. Estos valores se mantienen bajos ya que dentro del análisis se ve reflejado el periodo de confinamiento provocado por la pandemia mundial del Covid 19.

La desviación estándar en el caso de los valores en NO<sub>2</sub> es elevada, eso significa que la diferencia entre los valores mínimos y los máximos existe una diferencia importante. Sucede lo mismo con la variable renta, dentro de las ciudades analizadas el nivel de renta de la población, la diferencia es importante, por ejemplo entre la ciudad de Londres y la de Varsovia.

Tabla 2. Análisis descriptivo de las principales variables analizadas en la parte práctica.

Variable	Observaciones	Mean	Std. Dev.	Min	Max
PM10	180	21.29611	6.935264	7.66	53.97
NO2	180	18.88744	9.147857	1.61	38.42
POBLACIÓN	180	3.055256	2.186812	1.395	8.982
RENTA	180	27389.64	6993.496	12680	35840

Fuente: Elaboración propia.

Analizando los valores en NO<sub>2</sub>, podemos determinar que la media del análisis durante el periodo estudiado se sitúa alrededor de los 18.88 µg/m<sup>3</sup>. Se trata de unos valores

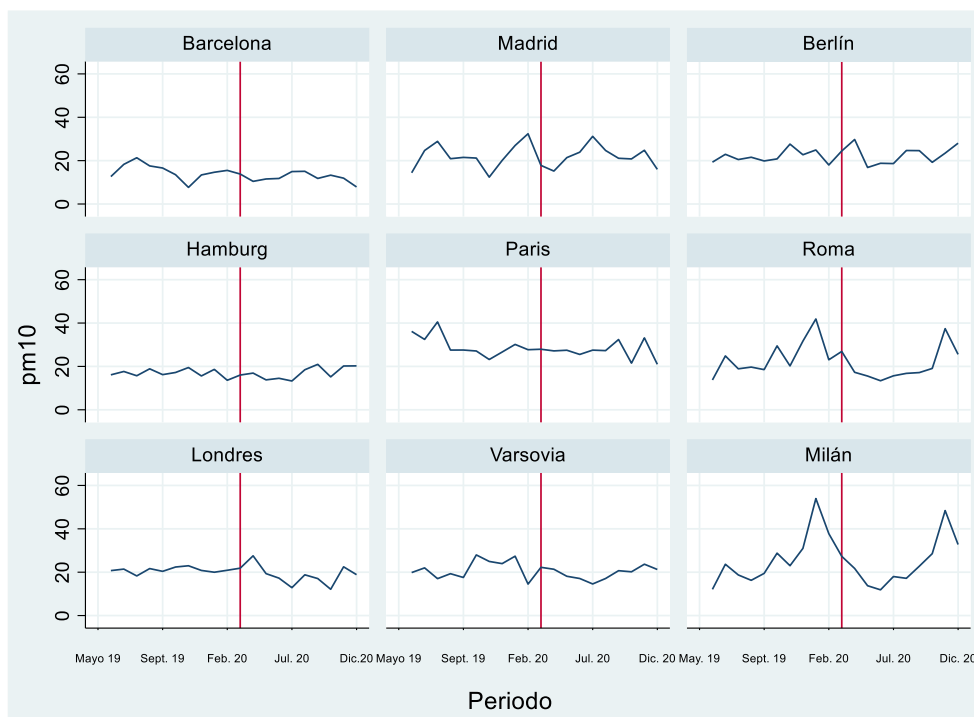
muy bajos. Si analizamos las principales fuentes emisoras de  $\text{NO}^2$ , vemos que es el tráfico rodado, en consecuencia, se entiende de forma muy clara que los niveles sean bajos debido a las restricciones en desplazamientos y reducción del nivel de tráfico que se produjo durante la pandemia del Covid 19.

Si relacionamos las dos variables entre población y  $\text{NO}^2$ , podemos determinar que tienen una relación positiva, es decir, como mayor población tengan las ciudades estudiadas, mayor serán sus niveles en  $\text{NO}^2$ . También vemos que las ciudades que tienen implementada un sistema de zonas de bajas emisiones, (LEZ), tienen valores más bajos de  $\text{NO}^2$ , que no las ciudades que apuestan por otros métodos como puede ser el sistema de peajes urbanos (*Congestion Toll*).

Si se realiza la comparación de todas las ciudades, tal y como se puede observar en la figura 5, la ciudad con los niveles de  $\text{PM}_{10}$  más elevados de todo el estudio de forma más continua, es la ciudad italiana de Milán, mantiene unos niveles muy elevados de contaminación, con picos ( $53.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , enero 2020), que superan de mucho los niveles máximos establecidos por la Unión Europea. Es un caso particular, Milán es una de las pocas ciudades del estudio que aplica dos tipos de política de transporte para reducir los niveles de polución, las LEZ y CT, es por eso significativo que durante los últimos meses de 2019 y enero de 2020 tenga unos niveles tan elevados.

Analizando la evolución de los gráficos, se ve perfectamente el periodo de máxima incidencia de la pandemia del Covid 19, marzo – junio 2020, vemos en general como en todas las ciudades analizadas, se produce un descenso significativo de los valores de  $\text{PM}_{10}$ , sobre todo en las ciudades donde el confinamiento fue más duro, Barcelona, Madrid, Roma, Milán. Este descenso es debido a las restricciones de movilidad que impusieron los gobiernos para frenar la propagación del virus. En ciudades como Hamburgo, no se nota tanto la diferencia, ya que en esta ciudad en concreto y en todo el país alemán, las restricciones no fueron tan duras como en los países mediterráneos, la incidencia de la pandemia fue menor. A partir del verano de 2020, los niveles se van recuperando poco a poco debido al aumento de movilidad que se produjo en el periodo estival del año pasado.

Figura 5. Gráfico comparativo de los niveles de PM<sub>10</sub> de las ciudades analizadas.



Fuente: Elaboración propia. Software Stata

Finalmente podemos determinar que el sistema más utilizado actualmente en las ciudades analizadas en el estudio para controlar los niveles de polución en sus centros urbanos es el sistema de Zonas de Bajas Emisiones (*Low Emission Zones*), en concreto un 83,3 % de la muestra, en frente al 19,44% que utiliza un sistema de peaje urbano (*Congestion Toll*). También podemos determinar que solo un 8% de la muestra experimentó un confinamiento muy brusco, es decir con todo cerrado (Tabla 4).

Tabla 4. Utilización de las políticas de transporte estudiadas en la muestra.

Variable	LEZ	CT	LOCKDOWN
Mediana	.8333333	.1944444	.0833333

Fuente. Elaboración propia.

## 5.2 Análisis econométrico.

Para testear la hipótesis 1, donde se preguntaba si la pandemia del Covid 19 ha producido un cambio de mentalidad y ha provocado un descenso de la contaminación en las ciudades analizadas, se ha realizado una estimación mediante el sistema *Mínimo Cuadrado Ordinario* (MCO), en este caso con las variables dependientes PM<sub>10</sub>, y NO<sub>2</sub>, y

otras variables independientes como por ejemplo la renta o la población. Se ha seleccionado dos modelos en concreto para hacer el análisis, el Modelo 1 (Pooled) que analiza el efecto medio de cada variable independiente (por ejemplo Renta) sobre la dependiente, y el modelo 4 (Fixed Effects), que solo da resultados relevantes si se ha producido un cambio muy sustancial (en este caso el Confinamiento Total). Estos dos modelos son los más fiables a la hora de extraer conclusiones.

Los resultados han sido los siguientes.

Tabla 5. Resultado de las regresiones.

VARIABLES	Modelo 1 (POOLED)	Modelo 4 (FE)	Modelo 1 (POOLED)	Modelo 4 (FE)
	LPM <sub>10</sub>	LPM <sub>10</sub>	LNO <sup>2</sup>	LNO <sup>2</sup>
Población	-0.00906 (0.0322)	5.735 -3.221	0.147*** (0.0419)	-0.461 -3.461
Renta	-0.0307 (0.118)	-0.491 (0.788)	0.527** (0.256)	-2.200*** (0.652)
LEZ	0.124 (0.126)	<b>-0.213**</b> (0.0814)	0.709** (0.298)	<b>-0.243**</b> (0.0950)
CT	0.145** (0.0719)	0.385** (0.126)	0.368*** (0.0962)	0.252* (0.119)
Confinamiento total	<b>-0.271**</b> (0.124)	<b>-0.315**</b> (0.108)	<b>-0.649***</b> (0.183)	<b>-0.544***</b> (0.128)
Después del confinamiento CT	<b>-0.0840</b> (0.100)	<b>0.0315</b> (0.132)	<b>-0.243*</b> (0.143)	<b>-0.112</b> (0.0987)
Después del confinamiento LEZ	<b>-0.109</b> (0.0710)	<b>-0.157**</b> (0.0603)	<b>-0.254**</b> (0.110)	<b>-0.203**</b> (0.0640)
Año 2020	0.0660 (0.0720)	0.0892* (0.0423)	0.0101 (0.0886)	-0.0776 (0.0603)
Constantes	3.230*** -1.145	2.715 -9.751	-3.247 -2.417	25.91** -8.305
Observaciones	180	180	180	180
R-squared	0.059		0.421	
Número de id	9		9	
Nº de grupos		9		9

Nota. La variable independiente en este caso es PM<sub>10</sub> y NO<sup>2</sup>, en total se han hecho 2 modelos diferentes de regresión para cada variable, relacionándolas con diferentes variables descriptivas. Todas las variables se representan en %. Relevancia \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. En negrita los valores significativos para realizar el posterior análisis.

Fuente. Elaboración propia

En el modelo 1 (POOLED) de análisis de valores  $PM_{10}$ , vemos como la variable Confinamiento Total es significativa, es decir, podemos determinar que las ciudades que aplicaron un confinamiento total durante la pandemia del Covid, experimentaron un descenso de los valores de  $PM_{10}$  de alrededor de un 27% aproximadamente, y tiene todo el sentido del mundo ya que los niveles de movilidad durante esa época experimentaron un descenso muy importante debido a las restricciones. En este caso, analizando los datos vemos que después de los confinamientos más estrictos, la tendencia a la baja ha seguido tanto en las ciudades que utilizan un sistema de CT, como en las ciudades que utilizan un sistema de LEZ, se han producido reducciones de niveles de polución de alrededor de entre un 8 i un 10% respectivamente, es decir, estas variables también son significativas. Por lo tanto, si hablamos de niveles de  $PM_{10}$ , sí que se puede determinar que después de la pandemia del Covid 19, las ciudades se ha producido un cambio de mentalidad en los ciudadanos ya que se ha experimentado un descenso en los niveles de  $PM_{10}$ , en consecuencia, podemos aceptar la H1.

El otro modelo seleccionado es el 4, (FIXED EFFECTS), se puede determinar que tanto la variable confinamiento total como la variable LEZ Confinamiento Total, es decir ciudades que tienen un sistema de LEZ después del confinamiento, también es muy significativa, es decir, las ciudades con una Zona de Bajas emisiones implementada mantuvieron un descenso de los niveles de polución en  $PM_{10}$ .

Si observamos los resultados en  $NO^2$ , vemos como las variables significativas son parecidas respecto al análisis hecho anteriormente. Se puede determinar como la variable población es muy significativa, es decir, como más población tiene la ciudad analizada más niveles de contaminación en  $NO^2$  tendrá, este dato va relacionado con el número de vehículos de la ciudad, a mayor población, mayor número de vehículos. Vemos cómo aplicar una política de transporte u otra no es muy efectivo a la hora de reducir los niveles de dióxido de carbono, ni las LEZ ni los sistemas de peajes urbanos provocan unos descensos importantes. Se observa como en el anterior caso que, durante el confinamiento más estricto, los niveles de contaminación se redujeron de forma muy significativa, en consecuencia, la variable confinamiento total es significativa por los dos modelos. Finalmente, sí que vemos que después del confinamiento más estricto en las ciudades da unas variables significativas, tanto las que tienen implementado un sistema de zonas de bajas emisiones como las ciudades que tienen implementado un sistema de peajes urbanos, experimentan un descenso de los niveles de  $NO^2$  de alrededor de un 25% aproximadamente, en consecuencia, en este caso también aceptamos la H1, es decir después de la pandemia mundial del Covid 19 se ha

producido un cambio de mentalidad en las ciudades analizadas y se puede concluir que los niveles de contaminación han experimentado un descenso.

Para testear la hipótesis número 2, donde se decía si los sistemas de zonas de bajas emisiones son el mejor sistema para reducir los niveles de contaminación; como en el caso anterior, se ha realizado una estimación mediante el sistema *Mínimo Cuadrado Ordinario* (MCO), con la variable dependientes  $PM_{10}$ , y  $NO^2$ , y haciendo la comparación de los niveles de contaminación entre las ciudades que aplican LEZ o CT. Como en el caso anterior se ha seleccionado dos modelos en concreto para hacer el análisis, el Modelo 1 (Pooled), que analiza el efecto medio de cada variable independiente (Confinamiento Total) sobre la dependiente, y el modelo 4 (Fixed Effects), que solo da resultados relevantes si se ha producido un cambio muy sustancial (en este caso el Confinamiento Total). Estos dos modelos son los más fiables a la hora de extraer conclusiones.

Se observa como las ciudades que aplican un sistema en bajas emisiones (LEZ), los valores de  $PM_{10}$  en reducción de contaminación son más significativos que las ciudades que aplican un sistema de peajes urbanos. En los dos casos vemos que los descensos son de alrededor de un 25% aproximadamente.

En este análisis, las ciudades que tienen implementado un sistema de peajes urbanos (*Congestion Toll*), durante el periodo analizado en las regresiones no se ha producido un cambio de política de transporte, es decir, estas ciudades desde hace muchos años que tienen implementado este sistema, por lo tanto, es difícil analizar esta variable con datos reales y relevantes y con el modelo de Fixed Effects, en consecuencia, no da resultados relevantes para extraer conclusiones.

Con los datos obtenidos sí que puedo aceptar la H2, ya que se dan resultados concluyentes para determinar que el sistema en Zonas de Bajas emisiones es más efectivo que el sistema de peajes urbanos a la hora de reducir la contaminación en las grandes ciudades, pero como he explicado anteriormente los resultados de CT habría que ampliar el periodo analizado para obtener unos resultados más significativos.

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

Como se ha podido ver durante el transcurso del trabajo, la pandemia del Covid-19 sí que ha tenido una afectación en los niveles de polución de las ciudades estudiadas, sobre todo durante los periodos de confinamiento más estricto.

Una de las motivaciones del presente trabajo era encontrar como había afectado la pandemia sanitaria del Covid-19 a los niveles de polución de las grandes ciudades europeas, y si una vez superada la pandemia y los confinamientos, se había producido un cambio sustancial en las políticas urbanas y de transporte y si verdaderamente se estaba produciendo un descenso de los niveles de polución en esas grandes áreas urbanas. Analizando los principales contaminantes se ha podido estudiar cómo se han visto afectados los niveles de polución.

Después de analizar los datos se ha podido llegar a varias conclusiones:

- Se determina que durante la época de confinamiento más estricto que han experimentado algunas ciudades del análisis, el descenso en niveles de polución en sus áreas urbanas fue muy importante.
- Durante la segunda parte del año 2020, después de la época más dura de la pandemia, los niveles de contaminación se han mantenido en una tendencia a la baja, eso quiere decir, que las ciudades han empezado a darse cuenta de la importancia de la reducción de la contaminación en sus áreas urbanas.

Respondiendo a otra de las motivaciones del trabajo, es decir, cuál de los principales sistemas en reducción de polución (LEZ o CT) es más eficaz actualmente, es una pregunta difícil de responder, después de ver los datos obtenidos se podría determinar que los sistemas en zonas de bajas emisiones son más efectivos en el hecho de reducir la polución.

A pesar de estos resultados, actualmente la mayoría de las ciudades del ámbito europeo están apostando por implementar sistemas de zonas de bajas emisiones, y de manera muy esporádica aplican sistemas de peajes urbanos, el crecimiento de la aplicación de estos sistemas se explica porque son sistemas mucho más populares en su aplicación que no aplicar un sistema de peaje (por parte del ciudadano se percibe de forma negativa aplicar una tasa para acceder a una zona de la ciudad), otra de las posibles razones es que cuando se aplica un sistema de bajas emisiones, se está prohibiendo el acceso a los vehículos más contaminantes, es decir al final solo afecta a un número reducido de conductores, a diferencia de los sistemas de peajes urbanos, donde la

prohibición es para todos los vehículos (Beaudoin, 2015) . Otro factor por destacar es que normalmente la aplicación de sistemas de bajas emisiones no va acompañada de mejoras en el transporte público, en consecuencia, para los ayuntamientos es mucho más rentable aplicar Zonas de bajas Emisiones.

La mejor solución para las ciudades sería aplicar un sistema mixto como se está haciendo en la ciudad de Milán, donde se compagina la aplicación de Zonas de Bajas emisiones con zonas de Peajes Urbanos, o como se ha producido en la ciudad de Londres, que aplicaba un sistema de peaje urbano, pero recientemente ha implementado una zona de bajas emisiones, este sistema mixto permite al ayuntamiento más margen de maniobra cuando las externalidades se incrementan, pudiéndolo manejar de forma más óptima.

Para un estudio futuro recomendaría realizar un buen análisis de los sistemas de Congestion Toll, en este análisis, el periodo elegido es muy pequeño para poder obtener buenos datos de contaminación de las ciudades que utilizan estos sistemas, es por eso que con análisis más amplio del periodo los resultados obtenidos serina más relevantes, con una base de datos más amplia.

Otra de las recomendaciones sería ampliar las zonas de bajas emisiones. Actualmente las ciudades que tienen unos sistemas de Bajas Emisiones, implementan estos sistemas en zonas muy pequeñas geográficamente hablando, es por eso que sería interesante que estas zonas se incrementasen en extensión y que mucha más parte de la ciudad estuviera delimitada por bajas emisiones, ya que se ha demostrado que es un sistema eficaz para reducir los niveles de polución.

Finalmente, la última recomendación sería incentivar a las ciudades que no están utilizando este tipo de sistema en que implementaran una LEZ, con los datos obtenidos puedo asegurar que es un sistema eficaz en el hecho de reducir la polución.



## 7. Cronograma del trabajo.

Para gestionar de forma óptima el tiempo dedicado a la realización del trabajo distribuiré las tareas por semanas, es decir, estableceré objetivos semanales, de manera que se podrá realizar un seguimiento muy real del trabajo.

<b>SEGUNDO TRIMESTRE / INICIOS TERCER TRIMESTRE</b>		
MES	SEMANA	TAREA
ENERO	2	Reunión con el tutor para concretar el calendario del 2no trimestre
	3	Trabajo Individual. Pulir conceptos hablados con la tutora durante las reuniones.
	4	Reunión con el tutor para definir un índice definitivo de la parte más práctica
FEBRERO	5	Trabajo individual. Desarrollar el marco teórico.
	6	Trabajo individual. Pulir conceptos que hemos hablado con la tutora
	7	Reunión con el tutor para comentar el trabajo realizado y pulir conceptos
	8	Trabajo individual. Preparación parte práctica. Uso del Stata
	9	Acabar memoria intermedia.
MARZO	<b>03/03/2021</b>	<b>Entregar memoria intermedia</b>
	10	Correcciones del tutor
	<b>17/03/2021</b>	<b>Entrega memoria intermedia al tribunal</b>
	11	Preparación presentación oral memoria intermedia
	12	Tribunal de seguimiento
	<b>24 25 26</b>	<b>Presentación memoria intermedia, tribunal de seguimiento</b>
ABRIL	14	Trabajo individual. Desarrollar parte práctica, con las pautas marcadas por el tutor
	15	Trabajo individual y reunión con tutor
	16	Trabajo parte práctica
	17	Reunión tutor e ir desarrollando parte práctica
MAYO	18	Trabajo individual

*Afectación del Covid en el transporte y la polución de las grandes ciudades europeas (+1.000.000 habitantes)*

	19	Trabajo Individual y reunión semanal con la tutora
	20	Trabajo individual y reunión semanal con la tutora
	21	Trabajo individual y reunión semanal con la tutora
JUNIO	22	Trabajo individual y reunión para acabar de perfilar los últimos detalles de la memoria escrita
	<b>06/06/2021</b>	<b>Entrega de la memoria escrita al tutor</b>
	<b>13/06/2021</b>	<b>Informe tutoría del 3r trimestre</b>
	<b>20/06/2021</b>	<b>Entrega memoria escrita final al tribunal</b>
	<b>30/06/2021</b>	<b>Presentación final del TFG delante del tribunal</b>

## 8. Referencias bibliográficas

Acción, E. en. (2020). Efectos de la crisis de la COVID-19 en la calidad del aire urbano en España. *Ecologistas En Acción*. Extraído de <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2020/04/informe-calidad-aire-covid-19.pdf>

Agency, E. E. (2018). Air Pollution emissions data viewer.

Agency, E. E. (2020). *Air quality in Europe 2020*.

Beaudoin, J. B. (2015). Essays on urban transportation investment and regulation. University of California, Davis.

Bernardo, V., Fageda, X., & Flores-Fillol, R. (2020). (2020). Pollution and Congestion in Urban Areas: The Effects of Low Emission Zones. Extraído de SSRN-id3289613.pdf

Bernardo, V., Fageda, X., & Flores-Fillol, R. (2021). Dealing with negative externalities. Low emissions zones versus Congestion zones. 2020, 6.

Boogaard, H., Janssen, N. A., Fischer, P. H., Kos, G. P., Weijers, E. P., Cassee, F. R., ... & Hoek, G. (2012). Impact of low emission zones and local traffic policies on ambient air pollution concentrations. *Science of the Total Environment*, 435, 132–140.

Comission, E. (2020). Urban access regulations. EXtraído de <https://urbanaccessregulations.eu>

Europeo, P. (2008). DIRECTIVA 2008/50, 44. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:Es:PDF>

Fensterer, V., Küchenhoff, H., Maier, V., Wichmann, H. E., Breitner, S., Peters, A., ... & Cyrus, J. (2014). (2014). Evaluation of the impact of low emission zone and heavy traffic ban in Munich (Germany) on the reduction of PM10 in ambient air. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(5), 5094-

5112.

Gehrsitz, M. (2017). (2017). The effect of low emission zones on air pollution and infant health. *Journal of Environmental Economics and Management*, 83, 121-144.

Green, C.P., Heywood, J.S., Navarro, M. (2016). Traffic accidents and the London congestion charge. *Journal of Public Economics*.

Malina, C., Scheffler, F. (2015). The impact of Low Emission Zones on particulate matter concentration and public health. *Transportation Research P, Part A* 77, 372-385.

Panteliadis, P., Strak, M., Hoek, G., Weijers, E., van der Zee, S., Dijkema, M. (2014). Implementation of a low emission zone and evaluation of effects on air quality by long-term monitoring. *Atmospheric Environment*, 86, 113–119.

Pareja, R. (2020). Alertan de un incremento del transporte privado en lugar del público. *Car and Driver*.

Simeonova, E., Currie, J., Nilsson, P., & Walker, R. (2018). Congestion Pricing, Air Pollution and Children's Health. *National Bureau of Economic Research*. Extraído de <https://www.nber.org/papers/w24410>

World health organization. (2005). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. In *Global update 2005* (p. 22). Extraído de

[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf;jsessionid=E6EC4E5DEAA7A89ABAE0BCCB87729811?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=E6EC4E5DEAA7A89ABAE0BCCB87729811?sequence=1)