

Estudio impacto Zona de Bajas Emisiones: Barcelona y ciudades españolas

Nombre del estudiante: Susana López Pinilla

Nombre del tutor/a: Valeria Bernardo

Fecha: 2021/2022

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

Curso: 2021/2022

Abstracto:

Las emisiones de los contaminantes atmosféricos PM10 y NO2 constituyen grandes riesgos para la salud y la contaminación atmosférica que es considerado un problema de alcance local, paneuropeo y hemisférico. Son diversas las medidas que se han establecido en diversas ciudades para paliar esta problemática, entre ellas la ciudad de Barcelona. En este estudio se analiza la efectividad de esta medida ante los niveles de polución registrados.

Abstracte:

Les emissions dels contaminants atmosfèrics PM10 i NO2 constitueixen grans riscos per a la salut i la contaminació atmosfèrica que es considerat un problema d'abast local, paneuropeu i hemisfèric. Són diverses les mesures que s'han establert a diverses ciutats per pal·liar aquesta problemàtica, entre les quals hi ha la ciutat de Barcelona. En aquest estudi s'analitza l'efectivitat d'aquesta mesura davant els nivells de pol·lució registrats.

Abstract:

Emissions of air pollutants PM₁₀ and NO₂ constitute great health risks and air pollution, which is considered a local, pan-European and hemispheric problem. Various measures have been established in different cities to alleviate this problem, including the city of Barcelona. This study analyzes the effectiveness of this measure considering the pollution levels recorded.

Índice

1. Introducción	4
2. Marco teórico	5
2.1 Transporte y polución en España	5
2.2 Transporte y polución en Barcelona	6
2.3 Medidas aplicadas por los gobiernos.....	8
2.4 Recopilación de la literatura actual sobre el tema	9
2.5 Casos reales sobre la implantación de las LEZ	11
2.6 Conclusiones marco teórico	13
3. Objetivos e hipótesis	15
4. Metodología y datos	16
4.1 Aplicación medidas en la ciudad de Barcelona.....	16
4.2 Selección de las ciudades de estudio	18
4.3 Ecuación empírica y datos.....	19
4.4 Estaciones climatológicas	20
5. Resultados.....	21
5.1 Estadística descriptiva	21
5.2 Correlación.....	25
5.3 Regresión lineal.....	27
6. Conclusiones	29
7. Recomendaciones	30
8. Cronograma.....	31
9. Bibliografía.....	32
10. Anexos.....	37

1. Introducción

Como indica la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente) en 2013, la contaminación atmosférica es un problema de alcance local, paneuropeo y hemisférico que provoca daños a la salud humana y a los ecosistemas. Dentro de las diversas fuentes de contaminación, destaca el consumo de combustibles fósiles para la generación de electricidad, el transporte, la industria y los hogares. Dentro del transporte, el uso masivo del vehículo privado como medio de movilidad en las grandes ciudades supone la creación de diversas externalidades negativas. Entre estas externalidades negativas destaca la polución que genera esta movilidad en las zonas urbanas, produciendo picos de contaminación en las horas punta debido a la congestión y los diversos costes tanto económicos como sociales.

La nueva Ley española 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, surge como parte de la diferencia real de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero de los países que forman parte del Acuerdo de París del año 2016, junto con las obligaciones reales que deben asumir estos mismos ante esta problemática.

El objetivo que persigue este trabajo es estudiar la efectividad de las nuevas Zonas de Bajas Emisiones (ZBE) o Low Emission Zone (LEZ) que se han establecido en la ciudad de Barcelona, medida que restringe la circulación de determinados vehículos por ciertas vías de la capital condal.

Para ello, se hace uso de los datos históricos sobre la polución que se han recogido en el período del 2019 hasta el 2021 de la ciudad de Barcelona sobre diversos contaminantes.

Este trabajo de final de grado se relaciona con el Grado en Logística y Negocios Marítimos, ya que, como en varias asignaturas a lo largo de los 4 años de formación, se ha tratado la problemática actual de la contaminación medioambiental de los diversos modos de transporte que existen y, por lo tanto, las consecuencias que ello conlleva. Por otro lado, la motivación principal de este

trabajo es la inexistencia de estudios sobre el impacto de las ZBE o LEZ en la ciudad de Barcelona ya que la medida fue implantada durante el año 2019.

2. Marco teórico

Los apartados que vienen a continuación hacen referencia a la literatura realizada para el estudio del proyecto. La estructura del marco teórico da comienzo con un apartado genérico sobre el transporte y polución en España; seguido del transporte y polución de Barcelona, la ciudad de estudio principal; las medidas que los gobiernos han implantado tanto a nivel europeo como en el caso de España; y finaliza con las medidas que se han establecido en la ciudad de Barcelona. Por último, el actual apartado concluye con las conclusiones obtenidas a partir del mismo.

2.1 Transporte y polución en España

El aumento del tráfico y la congestión en las ciudades ha sido objeto de estudio durante las últimas décadas, ya que la preocupación medioambiental y la preocupación medioambiental y la concienciación sobre su nocivo impacto económico se ha extendido a la sociedad. Los factores más comunes detrás del aumento de la congestión incluyen el rápido crecimiento demográfico y laboral (Hau,1992), el uso más intensivo de vehículos, la concentración de viajes laborales y escolares en horas pico y la tendencia a vivir y trabajar en áreas urbanas de baja densidad, especialmente en países desarrollados, lo que hace que aumenten las distancias de viaje y disminuya la eficiencia del transporte público (Chen, Jia & Varaiya, 2001). El último factor es el hecho de que los conductores no asumen la totalidad del coste total del viaje, ya que no tienen en cuenta el coste que imponen a los demás viajeros en sus desplazamientos (Trepal I Irquierdo, y otros, 2020).

En los últimos años, la población de Europa y España ha respirado aire contaminado que no cumple con los patrones recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Según las estimaciones de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y la OMS, durante el año 2014 se registraron más de

30.000 muertes prematuras por la mala calidad del aire en España, así como 23.180 muertes por exposición a partículas PM_{2.5}.

El cambio climático que enfrenta el planeta es un indicio directo del aumento gradual de la quema de combustibles fósiles para el transporte e industria, ya que, según el Informe Anual del Observatorio del Transporte y la Logística en España (2020), publicado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, durante el 2019 se efectuaron más de 445 mil millones de viajeros – km y se transportaron 1.534 millones de toneladas, ambas de movilidad interior. Aun así, según la OMS (2016) en España y la Unión Europea, los niveles de contaminación por partículas NO₂ son muy inferiores a los niveles que se registraban diez o veinte años atrás.

Por otro lado, cabe destacar el aumento en la preocupación por el benzo(a)pireno, un hidrocarburo aromático policíclico que resulta cancerígeno para la salud de la población. Según algunos informes de la AEMA, los niveles de este hidrocarburo afectan ya a diversas regiones del Estado español, como son: Andalucía, Cataluña, algunas ciudades de Madrid, Navarra, País Vasco, Valencia, Santander, Zaragoza o Valladolid.

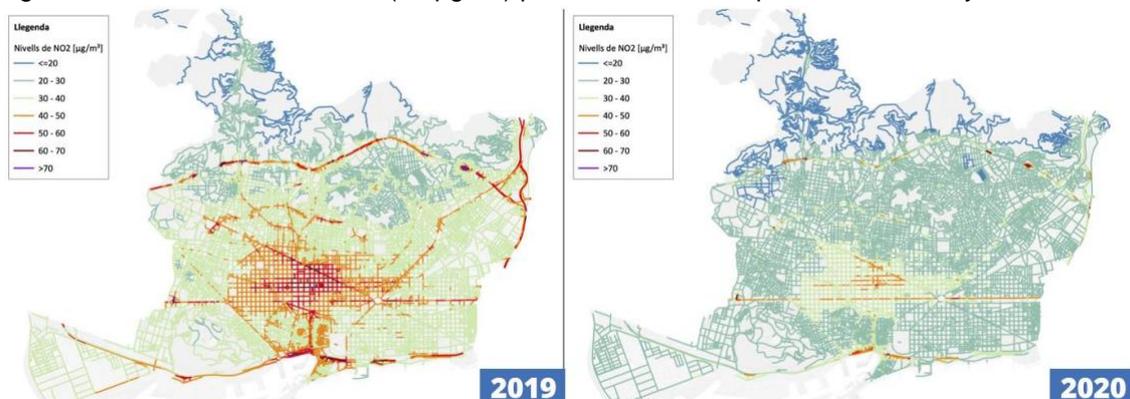
2.2 Transporte y polución en Barcelona

España se caracteriza por ser un país con una relativa concentración de población en las grandes áreas metropolitanas (Archondo & al., 2018:1). Uno de los principales problemas de Barcelona es el elevado nivel de tráfico y, por lo tanto, conducen a los altos niveles de contaminación que conlleva. Por consiguiente, se han incorporado planes de movilidad urbana menos contaminantes en varias ciudades con características similares a la ciudad de Barcelona.

Según el Informe sobre la Calidad del Aire de Barcelona 2019, el 35% de la población total y el 26% de las escuelas de la ciudad, habían sido expuestas a niveles de NO₂ superiores al límite legal de la UE. La emisión de este compuesto

químico gaseoso (dióxido de nitrógeno), se relaciona de forma directa con el tráfico vehicular. Para el Informe sobre la Calidad del Aire de Barcelona 2020, el porcentaje de población total expuesta se reduce a un 28%, sin embargo, esta disminución ha sido producida por la reducción de movilidad que generó la pandemia mundial de la COVID-19. Por otro lado, el Informe 2020, esta reducción de emisiones es notable desde el punto de vista del impacto en la salud pública, estimando que en la ciudad de Barcelona se evitarían el 4% de las muertes naturales, el 19% de los casos nuevos de asma pediátrica y el 5% de los casos nuevos de cáncer de pulmón.

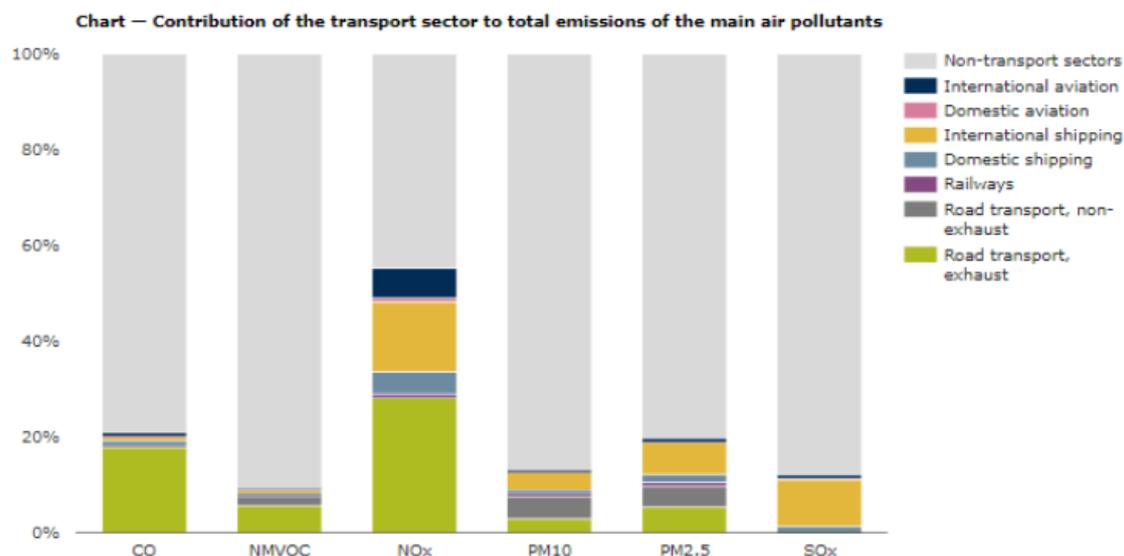
Figura 1: Mediana anual de NO₂ (en µg/m³) por tramos de calle para el año 2019 y 2020



Fuente: Informe de Calidad del Aire de Barcelona, 2020

Por otro lado, no hay que olvidar el impacto que ha generado la pandemia por la COVID-19. La calidad del aire del área metropolitana de Barcelona mejoró notablemente, ya que, si observáramos la península ibérica a través de imágenes satélite en 2018 y 2019, se evidenciaban claramente dos puntos críticos por NO₂, las ciudades de Madrid y Barcelona. Puntos críticos que desaparecieron en 2020. Esto es debido a la caída que experimentó el tráfico interior de la ciudad de Barcelona, ya que, durante las dos primeras semanas de confinamiento, el transporte público solo realizó el 10% de los trayectos habituales, los taxis el 5% de sus servicios y los vehículos privados el 47,3% (Gorrochategui, Hernandez, Pérez – Gabucio, Lacorte & Tauler 2021).

Gráfico 1: Contribuidores de emisiones totales en el sector del transporte



Fuente: European Environment Agency 2017

Como se muestra en el gráfico, la mayor materia contaminante que genera el transporte terrestre es el NOx, seguido del CO y el PM_{2.5}.

2.3 Medidas aplicadas por los gobiernos

Ante la problemática que presenta las emisiones que desprende el tráfico en las grandes ciudades, la Unión Europea tiene como objetivo lograr un nivel de calidad del aire que no suponga una amenaza para la salud pública y el medio ambiente.

El Pacto Verde Europeo, presentado el 11 de diciembre de 2019, es una nueva maniobra de desarrollo lanzada por la Unión Europea para combatir el cambio climático, queriendo transformar la Unión Europea en una economía actual/renovada, eficiente en el uso de los recursos y competitiva a su vez. Uno de los principales objetivos es que para el año 2050, se hayan dejado de producir emisiones netas de gases de efecto invernadero. El transporte representa la cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero dentro de la UE, y para lograr la neutralidad climática, las emisiones procedentes del transporte deberán reducir hasta un 90% de aquí a 2050 (Álvarez Cuesta, 2020).

En 2013, la Comisión Europea acogió un paquete de políticas dirigido a la calidad del aire entre los cuales, uno de los puntos era implantar acciones centradas en la calidad del aire de las urbes, a través de acciones nacionales y locales aparadas por fondos de la Unión Europea, además de una agenda de investigación e innovación.

Son varias las ciudades en Europa que ya han establecido medidas en las grandes urbes contra las emisiones que proceden del transporte, entre ellas ciudades como Bruselas, París, Londres, Rotterdam y Milán. Son ciudades con grandes concentraciones de población que hacinan una alta dimensión de tráfico y, por lo tanto, altos niveles de contaminación atmosférica. En el caso de España, han sido las ciudades de Madrid y Barcelona las primeras en implantar medidas ante esta problemática.

Según el Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático de Madrid, el sonado plan “Madrid Central” o “Madrid 360”, es una superficie de 480 hectáreas donde el tráfico está limitado y se prioriza al viandante, la bicicleta y transporte público. En el caso de la ciudad de Barcelona, fue el 1 de enero de 2020 cuando entró en vigor las Zonas de Bajas Emisiones (ZBE). Esta nueva medida engloba las rondas de Barcelona, siendo un área de más de 95km² que también incluye una serie de ciudades independientes alrededor de los anillos. Con ella, se busca reducir el uso del vehículo privado más contaminante de forma progresiva a través de la etiqueta ambiental que proporciona la DGT.

2.4 Recopilación de la literatura actual sobre el tema

En el 2012 se realizó un estudio en el que se compararon 36 ciudades europeas, y Barcelona se situaba en la cabeza en cuanto a niveles de concentración de NO₂ y NO_x en toda Europa (Cyrus, Eeftens, Heinrich y Ampe, 2012). De hecho, estos contaminantes se han relacionado directamente con efectos cardiovasculares negativos en los ciudadanos de Barcelona (Schembari, Nieuwenhuijsen, Salvador, de Nazelle, & Cirach, 2014), datos que coinciden en la totalidad de la literatura revisada y es que, el 48% de los ciudadanos están

expuestos a niveles de NO₂ por encima de lo recomendado y el 95% a PM₁₀ (Agència de Salut Pública de Barcelona, 2018). Así como en las principales ciudades metropolitanas, el dióxido de nitrógeno (NO₂), el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) se encuentran entre los más contaminantes peligrosos del aire.

Es importante comprender cómo el tráfico y la congestión están estrechamente relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que genera un caso más sólido para la implementación de tarifas de congestión. En casi todos los países del mundo, los vehículos impulsados por combustible representan la mayor parte de los vehículos matriculados y recién matriculados. La combustión de dicho combustible provoca una liberación de gases nocivos que son nocivos tanto para los habitantes de las ciudades donde abunda el tráfico vehicular como para el resto del mundo. (Trepal I Irquierdo, y otros, 2020).

Con un promedio de 29% de congestión, definida como la diferencia porcentual entre el tiempo de viaje real y el tiempo de viaje de flujo libre, Barcelona ocupa el puesto 81 entre las ciudades más congestionadas de Europa según el TomTom Traffic Index Ranking (2019), lo que, teniendo en cuenta la situación geográfica de Barcelona, unida a su alta densidad de población y tráfico, hace que la ciudad sea muy vulnerable a problemas relacionados con el tráfico rodado. (Trepal I Irquierdo, y otros, 2020). Y es que, los factores más comúnmente repetidos son del aumento de la congestión que incluyen el rápido crecimiento de la población y el empleo (Hau, 1992), un uso más intensivo de los vehículos, la concentración de viajes laborales y escolares en las horas pico (Trepal I Irquierdo, y otros, 2020) y una tendencia a vivir y trabajar en áreas urbanas de baja densidad, especialmente en países desarrollados, lo que hace que aumenten las distancias de viaje y disminuya la eficiencia del transporte público (Chen, Jia, & Varaiya, 2001).

Sin embargo, uno de los estudios analizados determina que la medida aplicada en Barcelona no minimiza la congestión vehicular, sino que tan solo acelera la renovación de la flota. Al hacerlo, la administración solo está abordando una de las externalidades, las emisiones, que pueden abordarse aún mejor a través de los impuestos al combustible (Mohring, 1989), mientras que ignora por completo

las demás, como el exceso de ruido o la congestión. Por otro lado, también tiene en cuenta los efectos económicos negativos que puede llegar a afectar al ciudadano ya que, es una medida regresiva y arbitraria, porque no se basa en la necesidad del ciudadano de hacer uso del vehículo sino en la antigüedad del mismo, que se correlaciona negativamente con el nivel de ingresos del ciudadano (Yurko, 2008). Y, por lo tanto, crean una injusticia artificial para aquellos que no pueden permitirse renovar su vehículo. (Trepal I Irquierdo, y otros, 2020).

2.5 Casos reales sobre la implantación de las LEZ

La implementación de Zonas de Baja Emisión (LEZ) en ciudades europeas se remonta en el año 1996 en Suecia. Fue allí donde se probaron por primera vez las “Zonas Ambientales”; sin embargo, nunca hubo un estudio para evaluar la efectividad. Es desde entonces, que otras ciudades europeas han introducido las ZBE como estrategia para la gestión de la calidad del aire y sus emisiones vehiculares.

El caso de Londres

Las ZBE implementadas en Londres, son con diferencia las más extensas de Europa. Cubre todas las carreteras locales, el aeropuerto de Heathrow y tramos de las autopistas M1 y M4, es decir, una superficie total de 1600 km². La calidad del aire de Londres se consideró una de las peores de cualquier ciudad europea a principios del siglo XXI. Esta situación requirió la implementación de ZBE en 2008. El proceso de implementación todavía sigue en curso y con cada nueva fase del proceso vienen medidas más estrictas y requisitos mínimos de emisión.

Según un estudio publicado en julio de 2008, cinco meses después del comienzo de la primera fase de la ZBE y justo antes del inicio de la segunda, aproximadamente el 90% de todos los vehículos pesados y autobuses que ingresaron a la ZBE cumplían con los estándares mínimos de emisión (Transport for London, 2011). Otro estudio de Ellison R.B, Greaves S.P y Hensher D.A, descubrió que, a finales de 2011, Londres tenía el porcentaje más bajo de vehículos anteriores a Euro 3 matriculados en el Reino Unido con un 19,4%, en

comparación con la media nacional del 29,8%. Antes de 2008, el porcentaje de vehículos anteriores a Euro 3 en Londres era del 56,3% y la media nacional del 57,1% (Ellison, Greaves, & Hensher, 2013).

Sin duda, la sustitución natural de los vehículos antiguos anteriores a Euro 3 por los nuevos compatibles explica, en parte, la caída del porcentaje de vehículos antiguos entre el año 2008 y 2011. Sin embargo, ZBE por sí sola representó un 2% adicional de los vehículos anteriores a Euro 2 que se reemplazaron por encima de la tasa de reemplazo normal en 2008, cuando la proporción de vehículos viejos que no cumplían las normas en Londres se redujo del 47,4% al 31,9% (Transport for London, 2011).

El caso de Berlín y Múnich

Son 41 las ciudades en Alemania que ya han establecido ZBE. En el caso de Berlín, las ZBE cubren un área de 88 km² en el interior de la ciudad.

A partir de enero de 2008, se ordenó a los vehículos comerciales y turismos que funcionaban con diésel, que cumplieran al menos las normas Euro 2 o Euro 1, o que tuvieran instalados filtros de partículas para ajustar sus emisiones de PM (Wolff & Perry, 2010). En enero de 2010, las normas mínimas para vehículos comerciales y turismos diésel se elevaron a Euro 4 y 3 respectivamente, mientras que para los turismos de gasolina inferiores a Euro 1 también se prohibió su circulación.

Al igual que con las ZBE de Londres, hubo un cumplimiento muy alto por parte de los operadores de vehículos dentro de la LEZ de Berlín: 99% de cumplimiento para turismos y 88% de cumplimiento para vehículos comerciales (Cyrus, Peters, Soentgen, & Wichmann, 2014). Según un estudio de 2010, las emisiones de PM de los vehículos se redujeron en un 35% o 100 toneladas como resultado de la ZBE de Berlín en 2009, y las emisiones de NO_x de los vehículos se redujeron en un 19% o 1500 toneladas en el mismo año (Wolff & Perry, 2010).

Algunos de los estudios no mostraron una reducción observable en las emisiones; muchos mostraron una reducción significativamente mayor que en las ZBE de Londres. Esto puede deberse a la diferencia en las estrategias de implementación de las ZBE entre las ZBE de Londres y Alemania (Ezeah, Finney, & Nnajide, 2015).

Si bien la caída en la proporción de vehículos altamente contaminantes que no cumplen con las normativas de las ZBE podría servir como una medida indirecta en la efectividad de las ZBE, los niveles de calidad del aire ambiental presentan resultados más directos. Las mediciones de la calidad del aire ambiental indican que el porcentaje de emisiones de PM₁₀ se han reducido entre un 2,46% y un 3,07% a finales de 2012 (Ellison, Greaves, & Hensher, 2013). Para poner esas cifras en contexto, las emisiones de PM fuera de las ZBE se redujeron un poco más del 1%. Estas cifras parecen indicar que el efecto de la medida en la reducción de la concentración de PM en el aire ha sido mínimo, a pesar de la alta tasa de cumplimiento por parte de los usuarios (Ezeah, Finney, & Nnajide, 2015). El estudio de Ellison R.B, Greaves S.P y Hensher D.A, indica, además, que la medida no ha tenido un efecto detectable en la reducción de la concentración de NO_x, ya que las concentraciones dentro y fuera de las ZBE se han mantenido casi iguales. (Cyrus, Peters, Soentgen, & Wichmann, 2014).

2.6 Conclusiones marco teórico

Después de la revisión literaria que se ha realizado de los diversos estudios, datos e informes relacionados con el caso de estudio, se concluye que se han llevado a cabo varias medidas y normativas para frenar el actual problema de polución que sufren las grandes ciudades del mundo debido al alto tráfico que circula, y por consecuencia, las externalidades negativas que esto genera, como los riesgos para la salud humana y al medio ambiente.

Son varios los estudios que determinan que las cotas que presenta la ciudad de Barcelona por NO₂ y PM₁₀, se sitúan por encima de los aconsejados por la OMS. Es por ello, que, en ciudades como Madrid o Barcelona, ya se han establecido medidas para paliar el problema social y medio ambiental que esto genera. Sin

embargo, existe un debate actual sobre cuánto eficaz llegarán a ser estas medidas y si realmente servirán para paliar la problemática que experimentan las grandes ciudades masificadas. La gran mayoría de la literatura estudiada presenta preferencias ante la implantación de peajes urbanos, medida que actualmente no se usa en España. Como ya se ha comentado anteriormente, solo en Madrid y Barcelona ya se ha adoptado otra de las medidas alternativas, las Zonas de Bajas Emisiones.

Con relación a la segunda medida comentada, no se han encontrado estudios sobre el impacto que ha tenido la aplicación de la misma en la ciudad de Barcelona ya que ha sido aplicada hace relativamente en un periodo corto. Sin embargo, los resultados extraídos de otras ciudades europeas donde se han establecido ZBE, determinan que la reducción de las emisiones es mínima y no es una medida eficiente para lograr los niveles idóneos que publica la Unión Europea.

Por otro lado, otro estudio evaluó el impacto de la pandemia por la COVID-19 sobre las emisiones en las ciudades. Y es que, los confinamientos comenzaron en todas partes del mundo, generando una reducción de la producción industrial y del consumo de energía, menor tráfico rodado y, por lo tanto, menores emisiones de contaminantes para la atmósfera (Isaifan 2020; Tobías et al. 2020; Mahato et al. 2020). Esta situación brinda una oportunidad única para evaluar el impacto de estas emisiones antropogénicas restringidas en la calidad del aire. En este estudio, se analizó 8 de las 129 estaciones automáticas remotas que hay distribuidas por el terreno estudiado para determinar que existe una correlación significativa entre los niveles de contaminantes en las dos estaciones ubicadas en Barcelona y la disminución de correlación de Pearson fueron positivos para NO_2 y PM_{10} .

3. Objetivos e hipótesis

El objetivo principal de este proyecto es analizar el efecto que ha tenido la aplicación de la nueva normativa de las Zonas de Bajas Emisiones en Barcelona en comparación con otras ciudades de España que presentan altos niveles de polución y no han establecido ninguna medida al respecto. Será a partir de los registros de polución de las materias PM₁₀ y NO₂ que presentan las diferentes ciudades de estudio entre los años 2019 y 2021, siguiendo los siguientes objetivos:

- Objetivo nº1: Observar los niveles de PM₁₀ y NO₂ presentes en las ciudades de estudio en el periodo de 2019 a 2021.
- Objetivo nº2: Determinar si la medida aplicada en la ciudad de Barcelona ha sido efectiva para la reducción de PM₁₀ y NO₂.

El proyecto persigue contestar la siguiente pregunta:

¿Ha sido eficaz la implantación de la normativa de las Zonas de Bajas Emisiones en la ciudad de Barcelona?

A través de la literatura analizada, se han extraído las siguientes hipótesis a contrastar durante el estudio:

- Hipótesis nº1: Las ZBE no disminuyen las emisiones de PM₁₀ en la ciudad de Barcelona.
- Hipótesis nº2: Las ZBE no disminuyen las emisiones de NO₂ en la ciudad de Barcelona.

4. Metodología y datos

A continuación, se presenta la metodología a utilizar para el análisis del registro de datos de materias contaminantes presentes en las ciudades a causa del transporte en el periodo de estudio.

4.1 Aplicación medidas en la ciudad de Barcelona

Como ya se ha comentado en el anterior apartado, las ZBE es la medida por la que ha optado la ciudad de Barcelona. Como la propia Generalitat de Catalunya indica, esta medida abarca toda la ciudad de Barcelona entre la Ronda de Dalt y la Ronda del Litoral y los alrededores de ambas rondas.

Figura 2: Mapa de las nuevas Zonas de Bajas Emisiones



Fuente: El Periódico 2021

Aunque la zona esté comprendida entre las Rondas, quedan libres de restricciones de tráfico, por lo que los vehículos sin la etiqueta ecológica de la DGT pueden circular sin tomar salidas o circular por las calles de Barcelona que formen parte de las ZBE.

Figura 3: Zona de Bajas Emisiones (ZBE) Rondes de Barcelona



Fuente: Ajuntament de Barcelona

Esta medida entró en vigor el 1 de enero de 2020, de manera fija, de lunes a viernes, en días laborables, de 7.00 a 20.00 horas. Para poder identificar las áreas demarcadas, se han instalado señales identificativas en las zonas de acceso a la ciudad.

Los vehículos que se vieron afectados por esta medida son aquellos turismos de gasolina anteriores a Euro 3 (turismos matriculados antes de enero del 2000), turismos diésel anteriores a Euro 4 (turismos matriculados antes del 2006), motos, ciclomotores y vehículos ligeros anteriores a Euro 2 (vehículos matriculados antes del 2003). Para los vehículos de uso profesional se amplía el plazo en función del vehículo. Para controlar que la población cumple esta medida, se han instalado más de 100 cámaras de lectura de matrícula en diversas localizaciones de las ZBE y de forma adicional, la Guardia Urbana podrá establecer puntos de control en otras zonas de la ZBE. El incumplimiento de la normativa implicará sanciones monetarias desde los 100 euros, dependiendo de si la quebrantación es leve, grave o muy grave. Si se trata de una repetición de

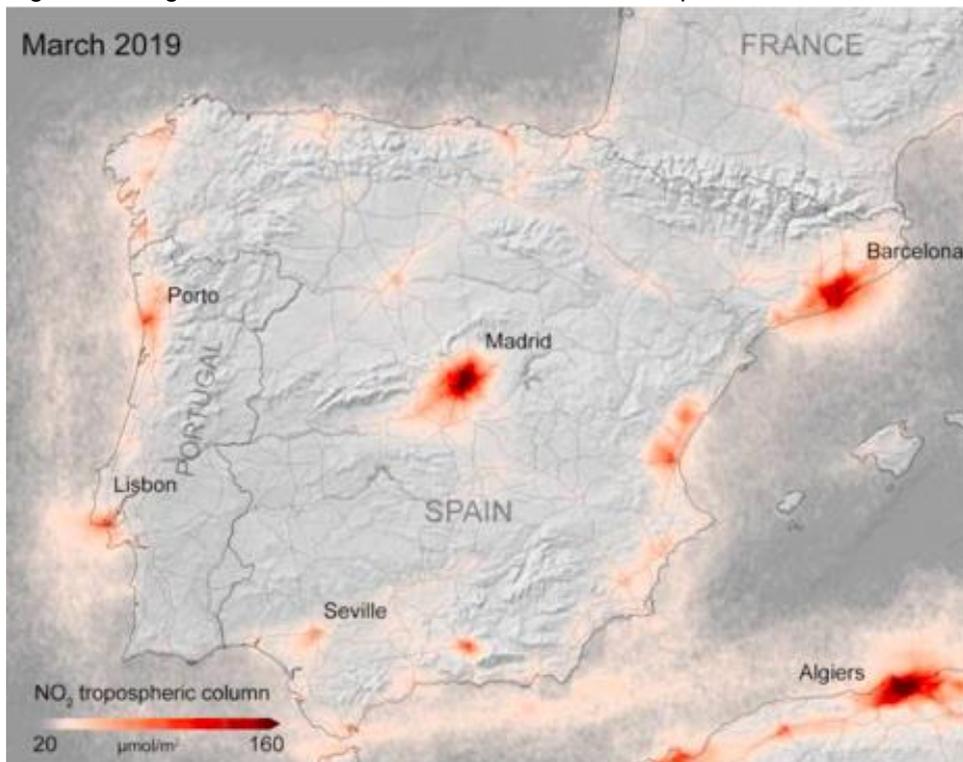
la infracción, la sanción puede incrementar un 30% respecto a su cuantía mínima.

Como parte de las ayudas para la movilidad ante esta normativa, las administraciones públicas brindan asistencia para la adquisición de vehículos cuyas emisiones sean bajas, reducción de impuestos, tasas de tráfico y otros costes relacionados con el transporte.

4.2 Selección de las ciudades de estudio

Para la selección de las ciudades de estudio ubicadas fuera de la Comunidad Autónoma de Cataluña, se han tenido en cuenta principalmente dos factores, el número de población y la congestión de las ciudades. Pero es a través de la imagen satélite que publica el primer satélite Sentinel-5P de Copernicus, dedicado a la monitorización de nuestra atmósfera, lo que revela las manchas que cubren las ciudades con más emisiones contaminantes.

Figura 4: Imagen satélite de las emisiones de NO₂ en España de Marzo del 2019



Fuente: ESA (The European Space Agency)

En la imagen anterior, podemos observar como las principales manchas que destacan de la península ibérica son Madrid y Barcelona. Sin embargo, ciudades como Valencia, Sevilla, Valladolid, Zaragoza o Granada también indican su elevado nivel de emisiones.

4.3 Ecuación empírica y datos

Para determinar si la implementación de las ZBE en la ciudad de Barcelona ha causado un efecto sobre la polución, se recopilan datos de 9 estaciones meteorológicas en 4 ciudades teniendo en cuenta que para la ciudad de Barcelona sí se aplicó la medida de las ZBE mientras que el resto de las ciudades no sufrieron la aplicación de la medida. El análisis recoge los datos del año 2019 al 2021 organizado en un panel de datos de 432 observaciones.

En primer lugar, se analizará la estadística descriptiva, calculando la media y la desviación estándar para cada una de las ciudades y así poder observar qué ciudades presentan medias de polución más altas, su población y el PIB per cápita. En segundo lugar, y a través de una “*pooled estimation*”, una estimación de efectos fijos y calculando el coeficiente de Pearson, poder analizar la correlación que existe entre las variables, si las variables condicionan las fluctuaciones de los indicadores de contaminación, así como determinar si las variables son significativas con respecto al PM₁₀ y al NO₂.

A través del análisis econométrico se tendrán en cuenta diversas variables con las siguientes ecuaciones para saber si se han reducido los niveles de PM₁₀ y NO₂ en la estación climatológica k , de la ciudad i , en el mes t

$$\begin{aligned} - \quad Poll_{1kit} &= \alpha + \beta_1 LEZ_{kit} + \beta_2 pob_{kit} + \beta_3 PIB_{it} + \sigma_i + \lambda + \varepsilon_{it} \\ - \quad Poll_{2kit} &= \alpha + \beta_1 LEZ_{kit} + \beta_2 pob_{kit} + \beta_3 PIB_{it} + \sigma_i + \lambda + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

donde $poll_{kit}$ es el logaritmo de la polución registrada en una estación climatológica k , de la ciudad i ; LEZ_{kit} es existencia de la ZBE en la estación climatológica k , de la ciudad i ; pob_{kit} es la población de la estación climatológica

k_i , de la ciudad i ; PIB_{it} es el PIB per cápita de la ciudad i del mes t ; σ_i son los efectos fijos de la ciudad i ; λ son los efectos fijos y por último, ε_{it} es un error variable en el tiempo distribuido de forma independiente; β_1 mide el impacto de las ZBE en la polución. Las variables de control mencionadas han sido seleccionadas por el histórico que presenta la literatura analizada y cómo influye en las emisiones contaminantes de una ciudad.

La información de cada variable se extrae de las siguientes fuentes de información:

- Polución: registro de valores de PM_{10} y NO_2 extraído de World's Air Pollution de forma mensual.
- Población: población censada en cada ciudad extraído del INE de forma anual.
- PIB per cápita: registro extraído del INE de forma anual.

4.4 Estaciones climatológicas

La recolección de datos de las materias contaminantes seleccionadas se extrae de las diversas estaciones climatológicas ubicadas en los diferentes barrios de las ciudades elegidas para el estudio, todas ellas formando parte de las áreas metropolitanas.

Ciudad de Barcelona:

- Poble Nou
- Sant Gervasi
- Palau Reial

Ciudad de Valencia:

- Molí del Sol
- Universitat Politècnica de Valencia
- Av. Francia

Ciudad de Sevilla:

- Torneo
- Principes
- Bermejales

Ciudad de Zaragoza:

- Calle Johann Sebastian Bach
- Renovales (Luis Vives)
- Actur

5. Resultados

Para calcular y presentar los resultados del proyecto científico, se ha hecho uso del programa estadístico STATA, una herramienta de software para administrar el análisis de datos. La base de datos está formada por las medidas registradas por cada ciudad y estaciones de calidad del aire, agrupando las medidas mensuales del período de estudio (2019 – 2021) de Barcelona, Sevilla, Valencia y Zaragoza.

5.1 Estadística descriptiva

Para analizar el impacto de las ZBE o LEZ sobre la polución, es necesario analizar el impacto que tiene en las variables (población, LEZ, PIB y confinamiento, PM₁₀ y NO₂) y como varían en el periodo de estudio.

A través del comando de STATA *xtset* podemos saber el estado de nuestra base de datos, en este caso, el resultado es “*weakly balanced*”, es decir, la muestra se encuentra débilmente equilibrada ya que hay datos cuya información no ha sido recopilada, por ejemplo, los datos mensuales de las emisiones generadas para algunos meses que forman parte del periodo de estudio.

A continuación, se presentan cuatro tablas donde se resumen las cuatro ciudades analizadas donde se recogen las variables PM₁₀, NO₂, PIB y la población, además de diferentes medidas como la desviación estándar, la media, el mínimo y la máxima de las variables:

Tabla 1: Estadísticos descriptivos de Barcelona

Variable	Obs.	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
----------	------	-------	---------------------	--------	--------

PM₁₀	105	20,43238	5,391508	7,6	36,5
NO₂	105	13,71524	4,623847	4,3	30
PIB	72	11.831,62	61.643,07	11.219,48	12.443,75
Población	108	5.707.570	32.727,03	5.664.579	5.743.402

Fuente: Elaboración propia por STATA

En el caso de la ciudad de Barcelona, la media de PM₁₀ se sitúa en 20,432 µg/m³ y una media de 13,715 µg/m³ para el NO₂. Observando las variables de control, la población media es de 5.707.570 habitantes y un PIB per cápita de 11.831,62€.

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de Valencia

Variable	Obs.	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
PM₁₀	108	14,6963	5,285086	6,9	30,7
NO₂	108	7,084259	3,494299	1,5	17,9
PIB	72	11.831,62	61.643,07	11.219,48	12.443,75
Población	108	2.582.104	12.108,13	2.565.124	2.591.875

Fuente: Elaboración propia por STATA

En el caso de la ciudad de Valencia, la media de PM₁₀ es de 14,696 µg/m³ y de 7,084 µg/m³ para el NO₂. Una población media de 2.582.104 habitantes con una media de 11.831,62€ para el PIB per cápita.

Tabla 3: Estadísticos descriptivos de Sevilla

Variable	Obs.	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
PM₁₀	108	22,19444	7,625619	5,8	77,2
NO₂	108	9,612963	3,51818	3,4	18,8
PIB	72	11.831,62	61.643,07	11.219,48	12.443,75
Población	108	1.946.820	3.294,106	1.942.389	1.950.219

Fuente: Elaboración propia por STATA

Para la ciudad de Sevilla, observamos una media de 22,194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el PM_{10} y una media de 9,612 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el NO_2 . Sevilla posee una media de 1.946.820 habitantes y su media para el PIB per cápita es del 11.831,62€.

Tabla 4: Estadísticos descriptivos de Zaragoza

Variable	Obs.	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
PM_{10}	88	13,51136	6,653967	4	33,2
NO_2	90	8,116667	3,080612	3,5	14,7
PIB	72	11.831,62	61.643,07	11.219,48	12.443,75
Población	108	968.224,3	3.260,04	964.693	972.528

Fuente: Elaboración propia por STATA

Por último, la ciudad de Zaragoza presenta una media de 13,511 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el PM_{10} y una media de 8,116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el NO_2 . La población media es de 968.224,3 habitantes y una media del PIB per cápita del 11.831,62€.

Por lo tanto, la ciudad que se sitúa con la media más alta de PM_{10} es Sevilla con una media de 22,194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido de la ciudad de Barcelona con una media de 20,432 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a continuación, la ciudad de Valencia con una media de 14,696 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y, por último, la ciudad de Zaragoza con una media de 13,511 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Si observamos las medias del NO_2 , la ciudad con la mayor media es Barcelona con 13,715 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, así como también tiene la media de habitantes más elevada con 5.707.570 de habitantes, seguida de Sevilla con una media de 9,612 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en tercer lugar, la ciudad de Zaragoza con una media de 8,116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y por último la ciudad de Valencia con 7,084 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media.

Tabla 5: Estadísticos descriptivos

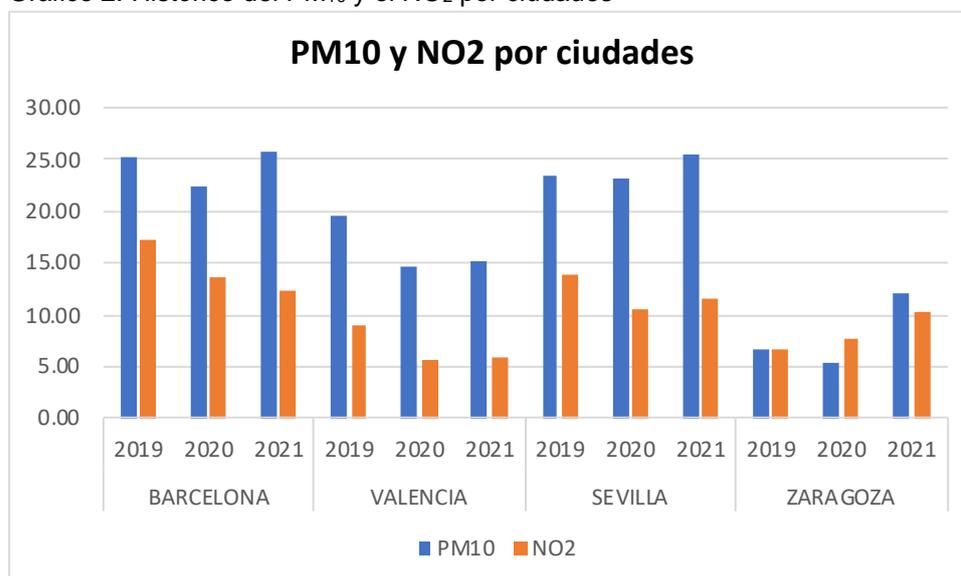
Variable	Obs.	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
PM_{10}	409	17,89389	7,268373	4	77,2
NO_2	411	9,668856	4,514703	1,5	30
PIB	432	11.818,30	50074,06	11.219,48	12.443,75

Población	432	2.801.180	1.775.893	964.693	5.743.402
------------------	-----	-----------	-----------	---------	-----------

Fuente: Elaboración propia por STATA

En la tabla anterior, se resume la base de datos sin clasificar por ciudades. Las partículas PM₁₀ contabilizan un total de 409 muestras mientras que para el NO₂ se registran 411 muestras, esto se debe a la falta de datos para algunos meses cuyas estaciones de origen no han registrado. En el caso del PIB per cápita se han recogido 432 muestras. Y, por último, la población media para las 4 ciudades de estudio es de 2.801.180 habitantes.

Gráfico 2: Histórico del PM₁₀ y el NO₂ por ciudades



Fuente: Elaboración propia por Excel

En el gráfico anterior se muestra el histórico de las medias anuales obtenidas para cada una de las materias en los años del periodo de estudio. Las ciudades que presentan unos valores mayores son la ciudad de Barcelona y la ciudad de Sevilla, seguido de Valencia y por último Zaragoza.

En todas las ciudades se experimenta una bajada de PM₁₀ en el año 2020 debido a las restricciones de circulación por la pandemia de la COVID-19. En el caso de Barcelona, las medias registradas de NO₂ para el 2021 fueron menores a las registradas en 2020, sin embargo, las medias de NO₂ para la ciudad de

Zaragoza en 2020, aumentaron y se posicionaron por encima de los resultados de 2019.

5.2 Correlación

A continuación, y gracias al programa estadístico STATA, se calcula la correlación que existe entre las variables, es decir, cuanta relación tiene la una con la otra. Cuando el valor obtenido sea cercano a 1 querrá decir que las 2 variables tienen relación entre ellas.

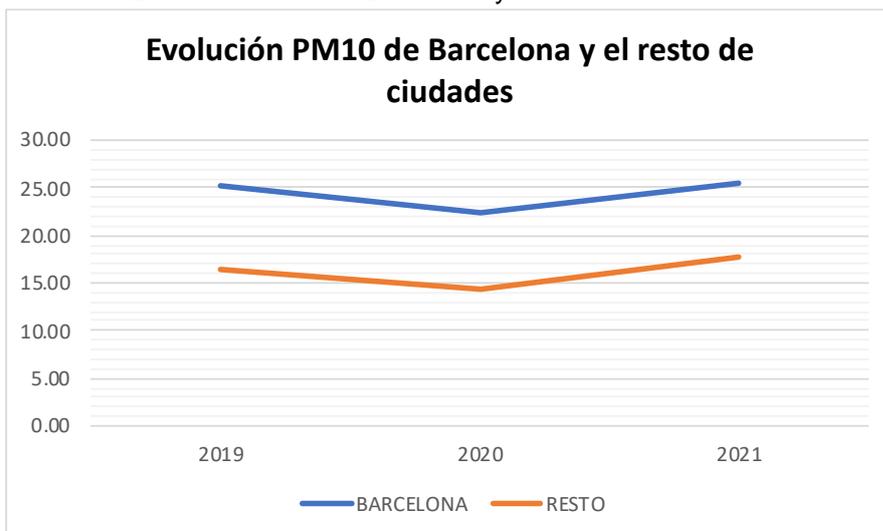
Tabla 6: Resultados cálculo de correlación

	PM ₁₀	NO ₂	PIB	Población	LEZ	Confina.
PM ₁₀	1,0000					
NO ₂	0,3896	1,0000				
PIB	0,1573	0,2597	1,0000			
Población	0,2209	0,4753	0,0378	1,0000		
LEZ	0,1137	0,2720	-0,2632	0,7513	1,0000	
Confina.	-0,2163	-0,2807	-0,4192	-0,0115	0,0708	1,0000

Fuente: Elaboración propia por STATA

Como podemos observar, para la materia PM₁₀ encontramos todos los valores positivos menos para el caso del confinamiento, la variable que más cercana se muestra a 1 es la de la materia NO₂. Lo mismo ocurre con la materia contaminante NO₂, sin embargo, el valor que más se acerca a 1 es para la variable PIB per cápita.

Gráfico 3: Evolución PM10 de Barcelona y el resto de ciudades

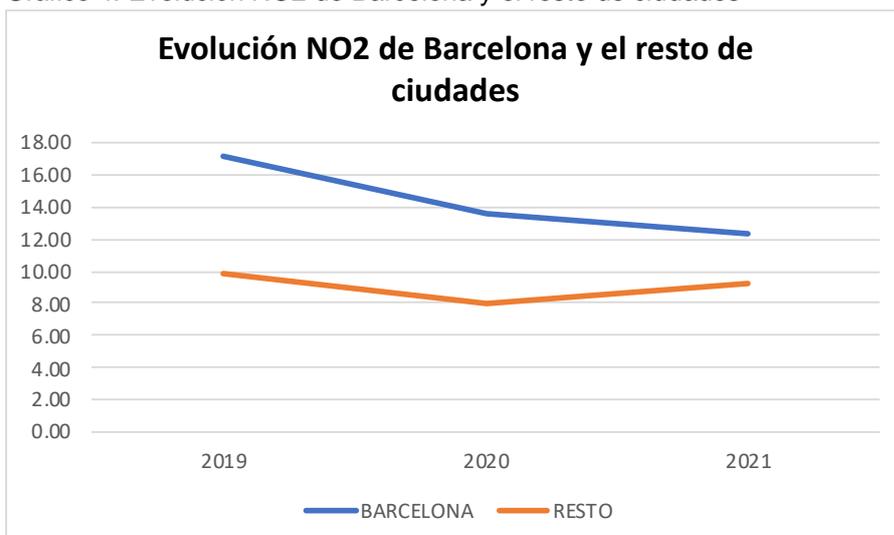


Fuente: Elaboración propia por Excel

En el gráfico anterior, se presenta la evolución de los datos registrados de PM₁₀ de la ciudad de Barcelona y el resto de las ciudades de estudio donde no se han aplicado ningún tipo de medida para la polución. Ambas líneas presentan mucha similitud en el recorrido que hacen ya que las medias registradas también presentan valores cercanos entre ellas.

No pasará lo mismo en el siguiente gráfico donde se muestra la evolución de la materia NO₂ para la ciudad de Barcelona y el resto de las ciudades.

Gráfico 4: Evolución NO2 de Barcelona y el resto de ciudades



Fuente: Elaboración propia por Excel

Como podemos observar, Barcelona presenta una media más elevada de la materia NO₂ para el año 2019, sin embargo, su tendencia dentro del periodo de estudio es a ir reduciéndose. Si observamos la línea que representa el resto de las ciudades, se sitúa por debajo de Barcelona en todo momento, sin embargo, no mantiene la bajada que experimenta en el año 2020 y recupera la tendencia que presentaba en 2019.

5.3 Regresión lineal

En el siguiente apartado, se realiza una regresión lineal de efectos fijos para identificar si las variables estudiadas generan una modificación en los niveles de contaminación de los contaminantes PM₁₀ y NO₂ para todas las ciudades de estudio.

En la siguiente tabla, se muestra el resumen de los resultados obtenidos con el programa estadístico STATA para la materia contaminante PM₁₀.

Tabla 7: Resumen regresión lineal PM₁₀

PM ₁₀	Coefficiente	Desviación estándar	P>(t)
PIB	-7,81e-06	9,66e-06	0,419
Población	-.000081	.0000457	0,077
LEZ	2.926441	2,635827	0,268
Confin.	-4,207771	.9300119	0,000
Constant	259,4446	139,016	0,063

Fuente: Elaboración propia por STATA

Como se observa en la tabla anterior, de los valores que ofrece el indicador P>(t) para cada una de las variables, tan solo dos de las variables se posicionan por debajo de 0,10; esto significa que, si se sitúa por encima de ese valor, la variable no es significativa. Las dos variables de estudio que sí son significativas serán la variable de población (0,077) y la variable del confinamiento (0,000).

Tabla 8: Resumen regresión lineal NO2

PM ₁₀	Coefficiente	Desviación estándar	P>(t)
PIB	8,55e-06	5,10e-06	0,094
Población	6,04e-06	.0000241	0,802
LEZ	-3,540878	1,391792	0,011
Confin.	-3,127776	.4909097	0,000
Constant	-16,71741	73,18264	0,819

Fuente: Elaboración propia por STATA

Para el caso de la materia contaminante NO₂, son tres las variables que sí se sitúan por debajo del valor 0,10 que nos ofrece la columna de P>(t). Por lo tanto, las variables que sí son significativas para el NO₂ son el PIB per cápita (0,094), el confinamiento (0,000) y la LEZ (0,011). Si observamos el signo de los resultados del coeficiente de las variables significativas, vemos que el coeficiente de población (6,04e-06) tiene signo positivo, por lo tanto, cuanto más cantidad de población mayores son los niveles de emisión. O por ejemplo, el coeficiente de la variable LEZ (-3,540878), al tener signo negativo en el resultado, indica que la implementación de la medida, reduce las emisiones de NO₂.

Por lo tanto, las medidas aplicadas de las Zonas de Bajas Emisiones en la ciudad de Barcelona no han influido en la bajada de las emisiones de PM₁₀, sin embargo, para la materia NO₂, principal contaminante del transporte por carretera, la medida de las LEZ sí provoca en ella una reducción de emisiones.

6. Conclusiones

En el siguiente apartado se procede a resumir y concluir los principales resultados y conclusiones desarrollados en este análisis sobre el impacto de las Zonas de Bajas Emisiones de la ciudad de Barcelona.

Tras la realización de los cálculos y su posterior análisis e interpretación, se concluye que una de las dos hipótesis planteadas en un inicio puede ser ratificada. La aplicación de la nueva medida de las Zonas de Bajas Emisiones en la ciudad de Barcelona contra la polución no ha hecho que disminuyan los niveles de las materias contaminantes PM_{10} , sin embargo, sí ha hecho efecto para el NO_2 . La hipótesis nº1: *Las ZBE no disminuyen las emisiones de PM_{10} en la ciudad de Barcelona*, puede ser confirmada para el periodo de estudio cuya extensión en el tiempo ha sido de tres años y en dos de ellos la medida se aplicaba de forma activa, es decir, a partir del año 2020 se activó las nuevas restricciones de circulación dentro de las zonas afectadas. No se puede afirmar el mismo resultado para la hipótesis nº2: *Las ZBE no disminuyen las emisiones de NO_2 en la ciudad de Barcelona*, cuyos niveles sí han reducido con la activación de la medida aplicada en la ciudad de Barcelona.

En este caso, la literatura previamente consultada y analizada, en la que se determinaba que la posibilidad de establecer una ZBE o LEZ en una ciudad cuyos niveles de polución son elevados, no era la mejor medida para mejorar la calidad del aire, si no que, alternativas como la presencia de peajes urbanos pueden ser más efectivas para paliar esta problemática. Puede que la aplicación de otras medidas presentara resultados más favorecedores que los registrados, sin embargo, al aplicar tan solo una medida como la de las ZBE, no podemos contrastar ni comparar la efectividad de las diversas medidas que existen.

Otro aspecto por destacar es la decisión que tomó el Tribunal Superior de Justicia de Cataluña (TSJC) el pasado mes de marzo del 2022, la medida de las Zona de Bajas Emisiones de Barcelona quedó anulada por deficiencias en la elaboración y falta de informes determinantes. La medida seguirá siendo efectiva

hasta que el propio TSJC dicte sentencia firme, por lo tanto, todo ciudadano que quiera circular por la ciudad de Barcelona deberá seguir respetando la normativa de las ZBE.

7. Recomendaciones

Después de analizar y estudiar si la medida de las ZBE o LEZ implantada en la ciudad de Barcelona ha hecho disminuir los niveles de NO₂ al menos en los dos primeros años de su implantación, plantearía la posibilidad de volver a investigar si los niveles de los contaminantes estudiados, incluyendo nuevas variables como las precipitaciones u otros contaminantes presentes en la polución, han disminuido en un plazo de 5 años, pudiendo abarcar más datos y registros siempre y cuando la medida siga activa.

La viabilidad de implantar medidas como los peajes de congestión en la ciudad de Barcelona, podría ser una opción más para disminuir las emisiones de la ciudad condal. Así como en otras ciudades europeas, con niveles de población más elevados, la medida ha resultado favorable para las emisiones de estas grandes urbes.

Por otro lado, también me gustaría proponer un estudio en el que se evaluara el impacto que ha tenido esta medida sobre la población y como ha podido afectar a la sociedad, ya sea en términos de movilidad, opinión o el impacto económico a nivel individual.

8. Cronograma

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Asignación tutor/a									
Reunión tutor/a									
Estructuración trabajo									
Recerca de información									
Antecedentes - Marco teórico									
Entrega 1a memória									
Evaluación 1a entrega									
Corrección fallos									
Plantear objetivos/hipótesis									
Desarrollo objetivos/hipótesis									
Análisis datos históricos									
Comparación datos ciudades									
Entrega 2a memória									
Evaluación 2a entrega									
Corrección fallos									
Tribunal seguimiento									
Mejoras tribunal									
Conclusiones									
Entrega 3a memória									
Modificaciones tutor/a									

9. Bibliografía

Agència de Salut Pública de Barcelona. (2021). *Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona 2020*. Recuperado el 28 de noviembre de 2021 de https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2021/07/Informe_qualitat-aire-2020.pdf

Agència de Salut Pública de Barcelona. (2020). *Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona 2019*. Recuperado el 28 de noviembre de 2021 de https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2020/10/Informe_qualitat-aire-2019.pdf

Álvarez, H. (2020). Transición justa y lucha contra el cambio climático en el Pacto Verde europeo y en el Proyecto de Ley de Cambio Climático en España. *IUSLabor. Revista d'anàlisi de Dret del Treball*, Recuperado el 28 de noviembre de 2021 de <https://raco.cat/index.php/IUSLabor/article/view/369297/466111>

Barcelona, C. S. (2020). Contaminació a Barcelona. Núm. 7 (3 abril 2020). Recuperado el 15 de noviembre de 2021 de https://5.135.88.25/jspui/bitstream/11703/118269/1/ASPB-covid19-contaminacio_200403_07_04.pdf

CEBALLOS, M. (2018). Contaminación urbana en España: el cambio climático y la "recuperación" agravan la situación". *Boletín ECOS*. Recuperado el 18 de noviembre de 2021 de https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Boletin_ECOS/41/N_Contaminacion%20urbana%20en%20España_M.A.pdf

Chen, C., Jia, Z., & Varaiya, P. (2001). Causes and cures of highway congestion. *IEEE Control Systems Magazine*, 21. Recuperado el 25 de noviembre de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/969132>

Cyrys, J., Eeftens, M., Heinrich, J., Ampe, C., Armengaud, A., Beelen, R., ... & Hoek, G. (2012). Variation of NO₂ and NO_x concentrations between and within

36 European study areas: results from the ESCAPE study. *Atmospheric Environment*, 62, 374-390. Recuperado el 28 de noviembre de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012007716>

Cyrus, J., Peters, A., Soentgen, J., & Wichmann, H. E. (2014). Low emission zones reduce PM₁₀ mass concentrations and diesel soot in German cities. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(4), 481-487. Recuperado el 6 de marzo de 2022 de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2013.868380>

Explore air pollution data. European Environment Agency. Recuperado el 17 de noviembre de 2021 de <https://www.eea.europa.eu/themes/air/explore-air-pollution-data>

Ellison, R. B., Greaves, S. P., & Hensher, D. A. (2013). Five years of London's low emission zone: Effects on vehicle fleet composition and air quality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, 25-33. Recuperado el 6 de marzo de 2022 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136192091300059X>

Ezeah, C., Finney, K., & Nnajide, C. (2015). A critical review of the effectiveness of low emission zones (LEZ) as a strategy for the management of air quality in major European cities. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 2(7), 1860-1868. Recuperado el 6 de marzo de 2022 de <http://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42350921.pdf>

González, L., Perdiguero, J., & Sanz, À. (2021). Impact of public transport strikes on traffic and pollution in the city of Barcelona. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Recuperado el 5 de diciembre de 2021 de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1361920921002509?token=EB69530AA1765F245B72E20F39B6BA7280B28B7DA34AA2E22C045A05A50EE72C7152700809547204196421A0A6D47817&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220208190034>

Gorrochategui, E., Hernandez, I., Pérez-Gabucio, E., Lacorte, S., & Tauler, R. (2021). Temporal air quality (NO₂, O₃, and PM₁₀) changes in urban and rural stations in Catalonia during COVID-19 lockdown: An association with human mobility and satellite data. *Environmental Science and Pollution Research*. Recuperado el 8 de diciembre de 2021 de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11356-021-17137-7.pdf>

Hau, T. D. (2005). Economic fundamentals of road pricing: a diagrammatic analysis, Part I—Fundamentals. *Transportmetrica*, 1. Recuperado el 25 de noviembre de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/18128600508685644>

Informe 2020 | OTLE. (2020). Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://observatoriotransporte.mitma.es/inform/es/2020/indice/>

Resúmenes climatológicos - Página 1: Cataluña - C. Autónomas. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Recuperado el 17 de noviembre de 2021 de http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes?w=1&k=cat

Isaifan RJ (2020) El impacto dramático del brote de coronavirus en la calidad del aire: ¿ha salvado tanto como ha matado hasta ahora? Recuperado el 15 de febrero de 2022 de <https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.03.01>

Montero Serra, P. (2020). La contaminación del aire, daños a la salud y responsabilidad de la administración: propuestas a partir del caso de Barcelona. Recuperado el 17 de noviembre de 2021 de <https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/45472/TFGDRET2020MonteroContaminacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mohring, H. (1989). The role of fuel taxes in controlling congestion. In *Transport Policy, Management & Technology towards 2001: Selected Proceedings of the*

Fifth World Conference on Transport Research (Vol. 1). Recuperado el 25 de noviembre de <https://trid.trb.org/view/334590>

Madrid Central – Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático. Diario de Madrid. Recuperado el 28 de noviembre de 2021 de <https://diario.madrid.es/aire/madrid-central/>

Políticas y medidas para reducir la contaminación atmosférica. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado el 15 de noviembre de 2021 de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/pol-med/>

Recasens Alsina, M. (2020). Desafíos para una movilidad sostenible: Barcelona. *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, Recuperado el 27 de noviembre de 2021 de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/331412/81337-Texto%20del%20art%C3%ADculo-265197-1-10-20200618.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Schembari, A., Nieuwenhuijsen, M. J., Salvador, J., De Nazelle, A., Cirach, M., Dadvand, P., ... & Vrijheid, M. (2014). Traffic-related air pollution and congenital anomalies in Barcelona. *Environmental health perspectives*, 122(3), 317-323. Recuperado el 27 de diciembre de 2021 de <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/ehp.1306802>

Sanginés-Uriarte Dooly, J., & Trepats i Izquierdo, A. (2020). Circumventing traffic and pollution in Barcelona: why congestion pricing is preferable to a low emission zone. Recuperado el 5 de diciembre de 2021 de https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/45288/TFG2020Circumventing_sangines.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Trinch Ventayol, A. (2020). *Anàlisi de la possible implementació d'un peatge urbà a la ciutat de Barcelona* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado el 27 de noviembre de 2021 de

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/341627/TrinchVentayolArnau_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

TomTom Traffic Index. (2020). Traffic Index Ranking. Recuperado el 12 de enero de 2022 de https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/

Un Pacto Verde Europeo. (2019, 12 octubre). Comisión Europea - European Commission. Recuperado el 28 de noviembre de 2021 de https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es

Vera, M. G. (2019). Movilidad urbana: patrón de movilidad actual, principales externalidades negativas y soluciones Smart City. Recuperado el 8 de diciembre de 2021 de <https://zagan.unizar.es/record/85556/files/TAZ-TFG-2019-1891.pdf?version=1>

Wolff, H., & Perry, L. (2010). Policy monitor: trends in clean air legislation in Europe: particulate matter and low emission zones. *Review of Environmental Economics and Policy*, 4(2), 293-308. Recuperado el 6 de marzo de 2022 de <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1093/reep/req008?journalCode=reep>

Yurko, A. (2008). From Consumer Incomes to Car Ages: How the Distribution of Income Affects the Distribution of Vehicle Vintages. Recuperado el 25 de noviembre de <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/36605/>

Zona de Bajas Emisiones (ZBE) Rondas de Barcelona. Medio Ambiente y Sostenibilidad. Recuperado el 5 de diciembre de 2021 de https://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_l_aire/qualitat-de-laire-a-la-conurbacio-de-barcelona/pla_millora_qualitat_2011_2015/mesures-del-pamqa/episodis_ambientals/faqs/restriccions/

10. Anexos

Nombre	Qué estudian	Resultados
<p>Consorti Sanitari de Barcelona & Agència de Salut Pública</p>	<p>Estudio del impacto en los niveles de contaminación a partir de la aplicación de las medidas de restricción en los desplazamientos diarios en el año 2020 en la ciudad de Barcelona. Contaminantes analizados: NO₂ y PM₁₀.</p>	<p>Los niveles de contaminación se han visto reducidos de manera considerable desde la aprobación del estado de alarma por la COVID-19, siendo su reducción de -69% para NO₂ y un -46% para PM₁₀.</p>
<p>Desafíos para una movilidad sostenible: Barcelona. Marta Recasens Alsina</p>	<p>Análisis sobre la posible movilidad sostenible en la ciudad de Barcelona.</p>	<p>Aumento en la conciencia social sobre la movilidad sostenible, sin embargo, el 65% del espacio público se ocupa por vehículo privado.</p>
<p>Anàlisi de la possible implementació d'un peatge urbà a la ciutat de Barcelona. Arnau Trinch Ventayol</p>	<p>Estudio sobre la viabilidad de la implantación de un peaje urbano en la ciudad de Barcelona, así como su repercusión y comparación con otros casos reales.</p>	<p>Se determina que la posible implementación de un peaje urbano puede ser útil en diferentes situaciones. La Zona de Bajas Emisiones recientemente implementada en el 2020, es insuficiente para lograr los objetivos marcados por la UE.</p>

<p>Circumventing Traffic and Pollution in Barcelona: Why Congestion Pricing is Preferable to a Low Emission Zone.</p>	<p>Comparación de los peajes urbanos ante las zonas de bajas emisiones.</p>	<p>Se determina que los peajes urbanos son el método más simple y eficiente para la reducción de la congestión, aplicando una tarifa de 0,77€ en horas punta que supondría la misma reducción que efectúan las ZBE.</p>
<p>Temporal air quality (NO₂, NO₃, and PM₁₀) changes in urban and rural stations in Catalonia during COVID-19 lockdown: an association with human mobility and satellite data.</p>	<p>Estudio sobre los cambios en la calidad del aire por NO₂, NO₃, y PM₁₀ en el área metropolitana de Barcelona y otras partes de Cataluña durante el confinamiento por COVID – 19.</p>	<p>A través de las diversas estaciones meteorológicas situadas en varios puntos de Cataluña, se determina que los niveles de NO₂ disminuyeron de forma extrema, así como los niveles de PM₁₀.</p>

Figura 1: Mapa de las estaciones climatológicas de la ciudad de Barcelona



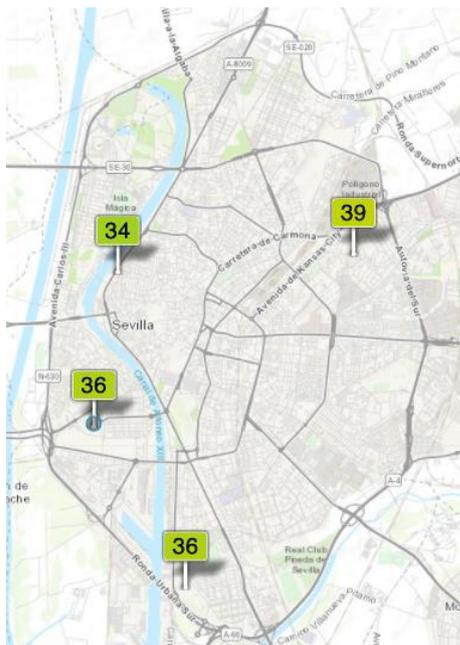
Fuente: World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index

Figura 2: Mapa de las estaciones climatológicas de la ciudad de Zaragoza



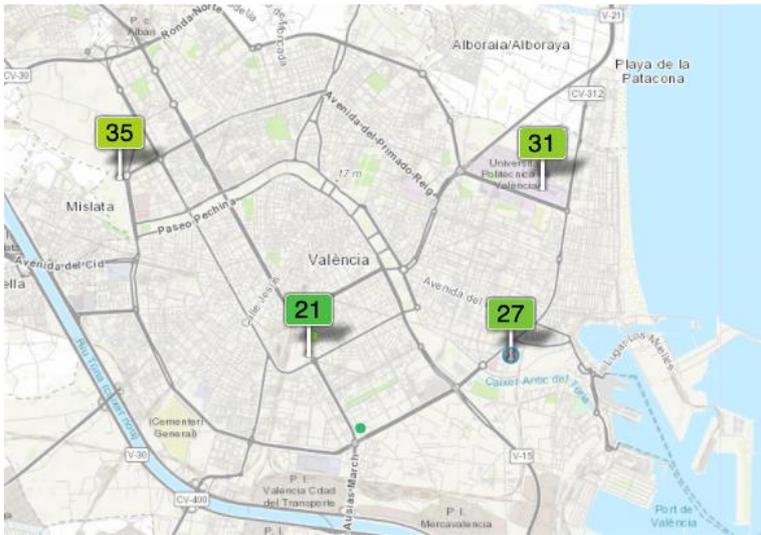
Fuente: World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index

Figura 3: Mapa de las estaciones climatológicas de la ciudad de Sevilla



Fuente: World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index

Figura 4: Mapa de las estaciones climatológicas de la ciudad de Valencia



Fuente: World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index