

# Impacto de las mejoras del transporte público sobre la polución. Evidencia de ciudades españolas.

Nombre de la estudiante: Miriam Riballo

Nombre de la tutora: Valeria Bernardo

Data 20/06/2022

## MEMORIA DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

---

**Curso: 2021-2022**

**Estudios: Logística y Negocios Marítimos**



## **Abstracto**

En este estudio se investiga el impacto del transporte público, en este caso el metro, sobre la contaminación atmosférica, concretamente sobre los contaminantes PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, en las ciudades españolas de Alicante, Barcelona y Palma de Mallorca. Para ello se ha realizado una base de datos con medidas mensuales desde el 2010 al 2018 en 14 estaciones de calidad del aire distintas repartidas por estas tres ciudades. Utilizando el método de regresión lineal de diferencia en diferencia se ha concluido que los tres contaminantes analizados disminuyen gracias a la creación o ampliación de la línea de metro escogida.

## **Abstracte**

En aquest estudi s'investiga l'impacte del transport públic, en aquest cas el del metro, sobre la contaminació atmosfèrica, concretament sobre els contaminants PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub>, a les ciutats espanyoles d'Alacant, Barcelona i Palma de Mallorca. En aquest sentit, s'ha realitzat una base de dades amb mesures mensuals des del 2010 fins al 2018 a 14 estacions de qualitat de l'aire repartides a aquestes tres ciutats. Utilitzant el mètode de regressió lineal de diferencia en diferencia es conclou que els tres contaminants analitzats disminueixen gracies a la creació o ampliació de la línia de metro escollida.

## **Abstract**

This study investigates the impact of public transport, in this case the metro, on air pollution, specifically on PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> pollutants, in the Spanish cities of Alicante, Barcelona and Palma de Mallorca. For this purpose, a database has been made with monthly measurements from 2010 to 2018 in 14 different air quality stations spread over these three cities. Using the difference-in-difference linear regression method, it has been concluded that the three pollutants analyzed decrease due to the creation or extension of the chosen metro line.

## **Índice**

1. Introducción .....	5
2. Marco teórico .....	7
2.1 Transporte y polución.....	7
2.2 Medidas de los gobiernos sobre polución .....	8
2.3 Transporte público y polución .....	10
2.4 Conclusiones marco teórico .....	12
3. Objetivos e hipótesis.....	14
4. Metodología y datos .....	15
4.1 Metodología .....	15
4.2 Datos.....	17
5. Resultados.....	21
5.1 Estadística descriptiva .....	21
5.2 Regresión lineal .....	27
6. Conclusiones .....	29
7. Recomendaciones .....	29
8. Cronograma.....	30
9. Bibliografía.....	30

## **1. Introducción**

La contaminación atmosférica es un problema que afecta a la salud de toda la población y según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) en 2016 hubo 4,2 millones de defunciones prematuras en el mundo por este tipo de contaminación producidas por accidente cerebrovasculares, cánceres de pulmón, neumopatías crónicas y agudas, entre otras. Por ello, esta organización ha implementado unas directrices para reducir los diferentes contaminantes que hay en el aire: materia particulada (PM), ozono (O<sub>3</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>).

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) en 2018 el sector que más impacto tuvo sobre la contaminación atmosférica en cuanto al contaminante NO<sub>x</sub> fue el del transporte por carretera, con un 36,48% y, por otro lado, en referente a la materia particulada de 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>) fue el tercero con un 10,67% colocándose por detrás de los sectores “Comercial, institucional y hogares” y “Procesos industriales y uso de productos”. En cambio, en estos mismos contaminantes el transporte diferente al citado tiene un impacto menor, siendo un 8,73% en NO<sub>x</sub> y solamente un 2,69% en PM<sub>2,5</sub> (EEA, 2018).

Para poder reducir esta contaminación atmosférica producida por los vehículos propios en las ciudades se implantan políticas como puede ser el transporte público o las zonas de baja emisión (Bruyn y Vries, 2020). No obstante, se encuentra disparidad en el caso del transporte público, ya que Rivers (2017) sugiere que una ampliación en la red de transporte público en las ciudades de Norte América genera mejoras en la calidad del aire y, por otro lado, Bruyn y Vries (2020) concluye que los vehículos propios siguen siendo más contaminantes que el transporte público ampliado y no se observa una mejora importante en la contaminación atmosférica.

En 2017, 66 ciudades europeas tenían metro o tranvía con un largo total de casi 4.000 kilómetros repartidos por 24 países (Fageda, 2021). Este trabajo se centrará en este tipo de transporte que según el estudio de Fageda (2021) reduce no solo la contaminación atmosférica, sino también los atascos y el tiempo de viaje.

El objetivo de este proyecto es determinar el impacto que tiene el metro, dependiendo de la infraestructura de cada ciudad, sobre la contaminación atmosférica en España. En particular, se analizarán las ampliaciones de las ciudades de Alicante, Barcelona y Palma de Mallorca. Se contribuye a la literatura debido a la escasa literatura anterior

sobre el tema a tratar en el trabajo de manera actualizada. Asimismo, es el primer trabajo que se realiza para el caso de España.

Este trabajo está relacionado con el grado de Logística y Negocios Marítimos gracias a los ámbitos de transporte y medio ambiente, ya que se trata el transporte por ferrocarril urbano y la contaminación atmosférica por distintos contaminantes. Mi motivación principal para la realización de este proyecto es poder aprender y a la vez aportar información sobre la contaminación del aire en las ciudades, debido a que es uno de los causantes más importantes de las muertes prematuras hoy en día.

A continuación de la introducción, el trabajo se estructura de la siguiente manera, primeramente, se centra en los antecedentes y marco teórico del tema a tratar. En el apartado 3 se establecen los objetivos e hipótesis del proyecto. Por otro lado, el siguiente punto consta de la explicación de la metodología que utilizará el estudio para conseguir los objetivos y, asimismo, la base de datos utilizada. En el apartado número 5 se mostrarán los resultados y seguidamente sus conclusiones encontradas a partir de todo el trabajo realizado.

Por último, se harán unas recomendaciones a futuros proyectos sobre el tema tratado y se mostrará el cronograma seguido durante todo el proceso de realización del estudio. En el apartado 9 se podrá observar la literatura empleada y los anexos necesarios.

## **2. Marco teórico**

Este apartado hará referencia a la literatura utilizada para el proyecto como base del estudio y se dividirá en distintos apartados, desde la incidencia que tiene el transporte en la contaminación, pasando por las medidas que aplican los gobiernos para reducir esta polución, hasta la importancia del transporte público en la calidad del aire. Finalmente, se realizará una conclusión del marco teórico para dar paso a los objetivos e hipótesis del proyecto.

### **2.1 Transporte y polución**

Según el informe de la OMS sobre la contaminación del aire ambiente (exterior) y salud (2021), la contaminación atmosférica en las ciudades, incluso regiones rurales, provoca cada año 4,2 millones de muertes prematuras, el 91% de estas se producen en países de baja y media renta y la mayoría se registran en zonas de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental.

El peor causante de muertes prematuras es el contaminante  $PM_{2,5}$  que contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón, debido a que puede atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo algo que la materia particulada de  $10\ \mu m$  ( $PM_{10}$ ) no puede hacer. Este tipo de contaminante consiste en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire (OMS, op. cit.).

Estos fallecimientos prematuros son causados por distintas enfermedades, en 2016 el 58% se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% de las muertes prematuras fueron causados por enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias, y el 6% se debieron al cáncer de pulmón. Asimismo, se ha observado una relación entre la mala calidad del aire y el aumento del cáncer de vejiga y de vías urinarias (OMS, op. cit.).

Para poder realizar un cambio en los datos tan pesimistas anteriormente indicados, esta organización implanta unos límites de contaminación por país, aunque en 2019 el 99% de la población vivía en territorios donde no se respetaban estas políticas. Estas medidas están fuera del alcance de las personas, ya que requieren cambios en las ciudades y, sobre todo, en los sectores del transporte, la construcción, la gestión de residuos energéticos y la agricultura.

Según la OMS (2021), la polución por materia particulada no es la única causante de las muertes prematuras, la exposición a contaminantes como el O<sub>3</sub>, que aumenta el riesgo de sufrir asma, y el NO<sub>2</sub> y el SO<sub>2</sub> que pueden estar relacionados con casos de asma, síntomas bronquiales, alveolitis e insuficiencia respiratoria.

Todos estos contaminantes son producidos en parte por el sector del transporte, ámbito en el que se centrará este proyecto. Algunas de las medidas que propone la OMS para reducir los niveles de contaminación del aire, particularmente para el sector del transporte son:

La adopción de métodos limpios de generación de electricidad; priorización del transporte urbano rápido, zonas peatonales y carriles para bicicletas; así como el transporte interurbano por ferrocarril, ya sea de pasajeros o de mercancías; y la utilización de vehículos más limpios y combustibles de bajas emisiones. (OMS, 2021)

En España, según el estudio de la infraestructura del transporte realizado en 2019 por la Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal, la tendencia de los contaminantes procedentes del sector de transporte anteriormente mencionados es de su reducción. Esto es gracias a la pequeña introducción de combustibles alternativos a la gasolina y el diésel, una mejora en la eficacia de los motores y la introducción de catalizadores en los vehículos (AIReF, 2019).

## **2.2 Medidas de los gobiernos sobre polución**

Los grandes niveles de contaminación atmosférica se consideran un grave problema para la sociedad y para la salud de las personas. Por ello, los estados y sus ciudades implantan medidas de reducción de esta polución, no solamente sobre el transporte, sino que también sobre las industrias.

El proyecto se centrará en las medidas correspondientes a la reducción de la contaminación del aire proveniente del transporte terrestre. Existen varias medidas distintas para esta reducción de la contaminación, pero el estudio hará referencia a las tres más importantes que corresponden a las siguientes: peajes de congestión, zonas de bajas emisiones, zona por número de matrícula y transporte público.

Los peajes de congestión se caracterizan por la reducción del volumen de tráfico en horas punta en zonas muy concretas, lo que conlleva una reducción de la contaminación proveniente de los vehículos. Para que esta medida surta efecto deberá estar bien diseñada (Fageda y Flores-Fillol, 2018). El funcionamiento de este peaje es simple, en las horas punta el importe a pagar es bastante más elevado que en las horas valle, lo que implica que los usuarios que puedan variar la hora de circulación por esta zona específica tendrán preferencia por el importe bajo de las horas valle, así descongestionando las horas punta (Fageda y Flores-Fillol, op. cit.).

Este método tiene un inconveniente, el cual consiste principalmente en la reticencia de los consumidores a la implantación de los peajes, ya que la incorporación del pago por algo que anteriormente era gratis no es aceptada por la mayoría de los usuarios. En cambio, por experiencia de otros países en los cuales se ha implantado esta medida, se asegura que la mayoría de los consumidores a medio plazo aceptan este nuevo pago (Salas, 2009).

Por otro lado, se encuentran las medidas que restringen el acceso a ciertas zonas de las ciudades a algunos vehículos, ya sea mediante zonas de bajas emisiones o basadas en el número de la matrícula. Esta medida consiste en prohibir la entrada a vehículos o muy contaminantes o con cierta numeración. La restricción permite la reducción de la contaminación en la zona específica debido a que los vehículos más contaminantes no podrán entrar en la zona de baja emisión y, por otro lado, en la basada en el número de matrícula se reducirá el número de entradas de vehículos, indistintamente de su grado de contaminación, lo que implicará una disminución del volumen de tráfico y, por consiguiente, una reducción de la contaminación aérea (Blázquez, 2019).

Junto con esta medida aparecen varios inconvenientes, el más importante corresponde a que a medio plazo estas restricciones ya no son eficaces. Se debe a que los usuarios podrán hacerse con un segundo vehículo con número de matrícula distinto del cual ya son propietarios y así poder acceder a la zona indicada en cualquier momento, incluso si el vehículo es de segunda mano será más antiguo y generará más contaminación. En cambio, en el caso de las zonas de bajas emisiones, este problema no surge, ya que para poder acceder deberán obtener un vehículo menos contaminante y beneficiará la calidad del aire (Fageda y Flores-Fillol, 2018).

Asimismo, otro gran inconveniente consiste en la exclusión de los usuarios con renta baja de esta zona, ya que suelen ser los propietarios de los vehículos más antiguos y, por consiguiente, más contaminantes, lo que les impiden el acceso a estas zonas por la gran dificultad de la adquisición de un nuevo vehículo (Fageda y Flores-Fillol, 2018).

A las dos primeras medidas se le incluye la del transporte público, que es paralela a estas, debido a que las personas que quedan excluidas de los anteriores métodos tienen la opción de hacer uso de la infraestructura del transporte público.

Según Greenpeace (s.f.), el transporte público se considera el modo de transporte que más reduce las emisiones que se genera por desplazarse y por espacio consumido. Por ejemplo, un autobús con capacidad para 50 usuarios aproximadamente puede llevar a las mismas personas que 41 coches, pero en 16 veces menos espacio. Asimismo, la red ferroviaria es con diferencia el modo de transporte menos contaminante y con menos impacto ambiental (Greenpeace, op. cit.).

### **2.3 Transporte público y polución**

El transporte público se considera parte de la estrategia para mejorar la calidad del aire relacionada con el tráfico, además de mejorar la habitabilidad y la accesibilidad de una ciudad hiperurbanizada (Beaudoin, Farzin y Lawell, 2015). Se ha creado un gran debate entre si realmente el transporte público ayuda a mejorar la calidad del aire o si simplemente es una idea teórica. Esta incertidumbre ha surgido debido a que se han encontrado relativamente pocos estudios empíricos sobre el efecto del transporte público en la calidad del aire, ya que hay escasas pruebas y datos empíricos sobre este aspecto.

De los pocos estudios sobre este campo que se han realizado surgen diferentes métodos de análisis utilizando datos de distintas ciudades y sobre distintos contaminantes. Por un lado, se han encontrado casos de proyectos de una sola ciudad, como es el caso de Changsha (China), que comparan la calidad del aire de las zonas cercanas al metro con las más alejadas a este transporte y los resultados fueron positivos respecto al monóxido de carbono (CO), en cambio, para la materia particulada y el ozono no se apreciaron cambios (Zheng, Zhang, Sun y Wang, 2019).

Otro método de análisis de la calidad del aire de únicamente una ciudad es realizar una comparación entre el antes de la inauguración del metro y el después. El estudio de Li, Liu, Purevjav y Yang (2019) sobre Pekín (China) no utiliza los contaminantes como procedimiento para analizar la contaminación, sino que observa factores meteorológicos como son la temperatura, las precipitaciones, entre otras. En este caso, gracias a la instalación del metro se observan mejoras en estos factores, lo cual implica una disminución de la contaminación aérea. Otro estudio que emplea este mismo modelo de análisis es el de Chen y Whalley (2012) sobre la ciudad de Taipei (China), en el cual se observa que la creación del metro mejora los niveles de CO, pero, en cambio, no se ve ninguna variación en los niveles de O<sub>3</sub> a nivel de suelo.

Por otro lado, diferentes estudios analizan la calidad del aire, pero de distintas ciudades, ya sea de diferentes partes del mundo o del mismo país. Respecto a esta última, se ha encontrado un análisis muy exhaustivo sobre 37 ciudades chinas en el cual no solo se observan los diferentes contaminantes sino también los factores meteorológicos. Asimismo, se hace una diferenciación entre los modos de transporte autobús y metro, entre los cuales se encuentran distintos resultados, ya que se observa que el metro reduce las concentraciones de contaminantes en el aire, mientras que el transporte en autobús no lo hace (Gu, He, Chen, Zegras y Jiang, 2019).

En cambio, estos mismos resultados no se observan en América del Norte, como se analiza en el estudio de Beaudoin, Farzin y Lawell (2015) sobre ciudades de Estados Unidos, en el cual indica que solamente mejora la calidad del aire si además de promocionar el transporte público se aplica alguna otra medida. En otros artículos de este mismo país analizan 96 ciudades (Beaudoin y Lawell, 2016) y concluyen que no se observa mejora en la calidad del aire cuando aumenta la oferta de transporte público, debido a que este aumento de oferta no provoca que los usuarios substituyan el transporte privado por el público.

Por otro lado, en un estudio realizado sobre 18 ciudades de Canadá (Rivers, Saberian y Schaufele, 2017) se observó los niveles de algunos contaminantes antes de unas huelgas del transporte público y durante estas y se concluye que el tráfico privado aumenta en un 3,5 por mil millones en NO<sub>x</sub> y no varía en PM<sub>2,5</sub> y CO.

Siguiendo con los estudios de varias ciudades se encuentra el Fageda (2021) que elige 43 ciudades relativamente ricas de tamaño medio en Europa y Reino Unido. Este artículo concluye que se genera una disminución en un 3% la polución, concretamente la materia particulada de 2,5  $\mu\text{m}$ , gracias a la ampliación de la red ferroviaria de las ciudades estudiadas.

Lalive, Luechinger y Schmutzler (2013) utilizan otro método de análisis de la calidad del aire en varias ciudades, en este caso alemanas, que consiste en observar la polución antes y durante del aumento de la frecuencia de la red ferroviaria de estas ciudades. Este estudio concluye que disminuye en un 3,8% el contaminante  $\text{NO}_x$  cuando se incrementa la frecuencia de paso de los trenes.

Por último, un caso de estudio realizado a ciudades de todo el mundo, en este caso 58 ciudades, es Gendon-Carrier, Gonzalez-Navarro, Polloni y Turner (2020) que analiza la Profundidad Óptica de los Aerosoles (AOD) en el centro de estas ciudades donde se crea el metro. Este artículo concluye que las ciudades con alto nivel de polución mejoran un 4% su calidad del aire gracias al metro.

## **2.4 Conclusiones marco teórico**

Se concluye que la contaminación aérea de las ciudades y zonas rurales es provocada por varias fuentes como pueden ser la industria, los hogares, así como el transporte. Esta polución es causante de un gran número de muertes prematuras por diferentes enfermedades, sobre todo respiratorias (OMS, 2021).

Para poder solucionar esta gran cantidad de fallecimientos prematuros, organizaciones como la OMS se reúne para realizar informes sobre el estado de la calidad del aire y recomendar la implantación de medidas por parte de los países y sus ciudades en los distintos sectores para poder así disminuir la contaminación aérea.

Una de estas políticas es la incorporación o ampliación del transporte público en las zonas afectadas, aunque no todos los estudios están de acuerdo con que se reduzca la contaminación con este tipo de transporte, tal y como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1: Papers

Referencia	Año estudiado	Contaminante	Zona estudiada	Contribución
Zheng, Zhang, Sun y Wang, 2019	2014	- CO - PM - O <sub>3</sub>	Ciudad: Changsha	- CO reducción en zonas cercanas al metro - PM y O <sub>3</sub> no se observa cambio
Beaudoin, Farzin y Lawell, 2015	Desde 1990	- NO <sub>x</sub> - CO - SO <sub>2</sub> - O <sub>3</sub>	País: EE. UU.	- El transporte público solamente mejor la calidad del aire si se implementa junto con otras medidas
Li, Liu, Purevjav y Yang, 2019	2008-2016	- PM <sub>2,5</sub>	Ciudad: Pekín	- Aumento de la red mejora la calidad del aire un 2%
Gu, He, Chen, Zegras y Jiang, 2019	2014	- PM - SO <sub>2</sub> - NO <sub>2</sub> - CO - O <sub>3</sub>	37 ciudades China	- Correlación negativa de la calidad del aire y el tren
Lalive, Luechinger y Schmutzler, 2013	1994-2004	- NO <sub>x</sub>	País: Alemania	- Disminuye NO <sub>x</sub> un 3,8%
Rivers, Saberian y Schaufele, 2017	1974-2011	- CO - PM <sub>2,5</sub> - NO <sub>x</sub>	18 ciudades Canadá	- El tránsito provoca un aumento del NO <sub>x</sub> , pero no modifica el PM <sub>2,5</sub> y el CO
Chen y Whalley, 2012	1996	- CO - O <sub>3</sub>	Ciudad: Taipei	- El metro reduce el CO, pero no hace variar el O <sub>3</sub>
Gendron-Carrier, Gonzalez-Navarro, Polloni y Turner, 2020	2011-2016	- AOD	58 ciudades Mundo	- El metro reduce un 4% el AOD

Beaudoin y Lawell, 2016	1991-2011	- CO - NO <sub>x</sub> - O <sub>3</sub> - PM - SO <sub>x</sub>	96 ciudades EE. UU.	- No se observa modificación en la calidad del aire cuando aumenta la oferta de transporte
Fageda, 2021	2008-2019	- PM <sub>2,5</sub>	43 ciudades EU y Reino Unido	- 7% menos de congestión - 1% menos de tiempo de viaje - 3% menos de polución

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran los 10 artículos encontrados relacionados con el análisis de la implantación de transporte público en diferentes zonas del mundo respecto a la calidad del aire. Para ello, se tuvieron en cuenta diferentes contaminantes atmosféricos, dando importancia sobre todo a los generados por los vehículos privados como son la materia particulada, el dióxido de nitrógeno y el ozono.

### 3. Objetivos e hipótesis

Como se desprende de la literatura reseñada en la sección anterior, no existe una gran cantidad de estudios correspondientes a la relación del transporte público con la calidad del aire y, todavía, un menor número de estudios sobre ciudades españolas. Por ello, el proyecto contribuye a la literatura existente realizando un análisis en concreto del impacto de las mejoras del transporte público sobre la contaminación aérea de varias ciudades españolas.

En este contexto, el objetivo principal de este proyecto consiste en analizar el impacto sobre la polución con la ampliación o incorporación de transporte público, en específico del metro, en las ciudades españolas de Alicante, Barcelona y Palma de Mallorca. Como se ha explicado en este proyecto anteriormente, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> son unos de los contaminantes más perjudiciales para la salud humana, por ello este proyecto se centrará en ellos en el momento de ejecutar los análisis. Asimismo, esta elección contribuirá a la escasa literatura existente sobre estos contaminantes. Para ello se tendrán presente los siguientes objetivos:

- Objetivo 1: Construir la base de datos con los contaminantes por ciudades y variables relevantes para estudiar el nivel de polución.
- Objetivo 2: Realizar comparativa del antes y después de la ampliación o incorporación del metro en estas ciudades en términos de PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>, y así evaluar la efectividad de este para reducir la polución.

Se seguirá la siguiente pregunta:

¿Cómo impacta el metro sobre los contaminantes en Alicante, Barcelona y Palma de Mallorca?

Observando la literatura existente, se han desarrollado las siguientes hipótesis a contrastar dependiendo del contaminante estudiado en este proyecto:

- La PM<sub>10</sub> no varía con la ampliación o incorporación de metro en las ciudades de Alicante, Barcelona y Palma de Mallorca.
- El O<sub>3</sub> no varía con la ampliación o incorporación de metro en las ciudades de Alicante, Barcelona y Palma de Mallorca.
- El NO<sub>2</sub> disminuye con la ampliación o incorporación de metro en las ciudades de Alicante, Barcelona y Palma de Mallorca.

En el siguiente apartado se explicará la metodología utilizada para analizar el impacto del metro en la contaminación atmosférica.

#### **4. Metodología y datos**

En este apartado se explicará la metodología a utilizar para analizar el impacto del metro en la polución de varias ciudades españolas, además de indicar los datos sobre los niveles de contaminación en los últimos años.

##### **4.1 Metodología**

Para poder analizar el impacto de este modo de transporte en la polución se empleará un análisis econométrico con el método de diferencia en diferencia para los distintos contaminantes del proyecto.

Se realizará una regresión lineal para saber el efecto de la creación o actualización del metro en los distintos contaminantes utilizando el método de diferencia en diferencia para comparar los cambios, es decir, comparar los datos del después de la incorporación del metro y el antes con la estación de medida de calidad del aire que se vea afectada por esta incorporación y las que no lo hagan (estaciones control).

Para ello hay que tener en cuenta que no solamente se tendrá la variable dependiente, en este caso los contaminantes anteriormente mencionados, sino que se tendrán las variables de control que también afectan a la calidad del aire y consisten en el clima, más específicamente las precipitaciones, el Producto Interior Bruto (PIB) per cápita, como indicador de la economía de la ciudad, y el número de población (Fageda, 2021).

Los datos sobre las precipitaciones se extraerán de la base de datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la cual se encuentra dividida por ciudades y consta de registros diarios en l/m<sup>2</sup>. Por otro lado, el PIB per cápita de cada ciudad entre 2010 y 2018 se obtendrá del INE (2020) y, asimismo, el número de habitantes por ciudad estudiada en el INE (2021).

Para comprobar las hipótesis mencionadas en el apartado de Objetivos e hipótesis (Sección 3) se estiman las siguientes ecuaciones para observar la variación de los contaminantes con la implantación del metro en una ciudad  $i$ , una estación  $j$  y en el mes  $t$ :

$$C_{1itj} = \alpha + \beta_1 pob_{it} + \beta_2 PIB_{it} + \beta_3 prec_{it} + \beta_4 M_{it} + \sigma_i + \epsilon_{it}$$

$$C_{2itj} = \alpha + \beta_1 pob_{it} + \beta_2 PIB_{it} + \beta_3 prec_{it} + \beta_4 M_{it} + \sigma_i + \epsilon_{it}$$

$$C_{3itj} = \alpha + \beta_1 pob_{it} + \beta_2 PIB_{it} + \beta_3 prec_{it} + \beta_4 M_{it} + \sigma_i + \epsilon_{it}$$

donde  $C_{1itj}$  es la materia particulada medida en una ciudad  $i$ , en un mes  $t$  y en una estación de calidad del aire  $j$ ;  $pob_{it}$  es la población de la ciudad  $i$  en el año  $t$ ;  $PIB_{it}$  es el PIB per cápita de la ciudad  $i$  en el año  $t$ ;  $prec_{it}$  es el nivel de precipitaciones acumulado en la ciudad  $i$  en el mes  $t$  medido en l/m<sup>2</sup>;  $\sigma_i$  son los efectos fijos de la ciudad; y  $\epsilon_{it}$  es un error variable en el tiempo que se supone distribuido de forma independiente.

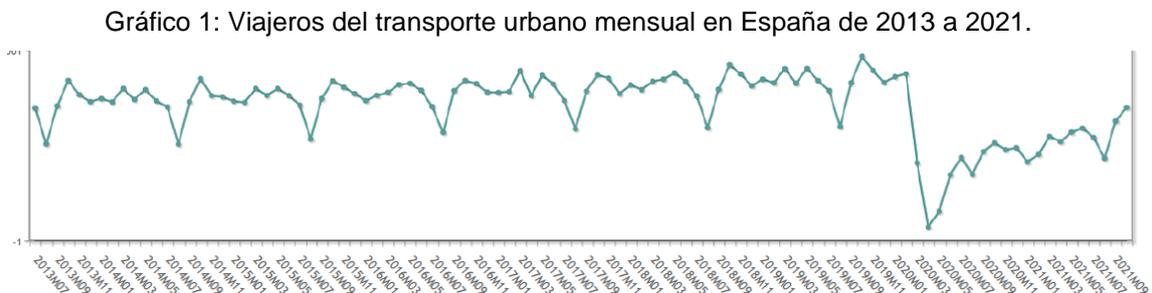
Asimismo,  $M_{it}$  es una variable ficticia que es 0 cuando la estación de calidad del aire sea de control durante todo el periodo y en las estaciones que se vean afectadas por el

metro será 0 en el periodo que no haya este transporte público y será 1 desde el momento de su creación o actualización. Además, el coeficiente  $\beta_4$  identificará el efecto de tener metro en la ciudad  $i$  en el tiempo  $t$ . Por último, la única diferencia entre la primera ecuación econométrica y las dos siguientes es la variable independiente donde  $C_{2itj}$  corresponde a  $O_3$  y  $C_{3itj}$  a  $NO_2$ .

## 4.2 Datos

Este proyecto se centrará en varias ciudades españolas para hacer el análisis de la calidad del aire. Para poder realizar este estudio se deben tener en cuenta algunos datos sobre España relacionados con el transporte público y la contaminación aérea. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico define un conjunto de medidas para el fomento de una movilidad sostenible. Esto implica impulsar el desarrollo de las infraestructuras del transporte público en el país, dando la máxima importancia al modo ferroviario de pasajeros en lugar del transporte público por carretera.

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE) desde 2013 hasta 2021 no se ha observado un aumento considerable del número de pasajeros en el transporte urbano (autobús y metro) y este presenta una media mensual de 258.501 pasajeros (Gráfico 1).



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

Para poder realizar este proyecto se han seleccionado varias ciudades españolas con ampliaciones o nuevas infraestructuras en su red ferroviaria, en concreto Alicante, Barcelona, Málaga, Murcia, Palma de Mallorca y Zaragoza.

Como se puede observar en la Tabla 2 en la ciudad de Alicante se hizo una ampliación del metro en septiembre de 2013 de toda la L2, pero la creación de este fue en 2003. En Barcelona, hay implantado el servicio de metro con una ampliación efectuada en febrero del 2016 de la línea 9 que llega hasta el Aeropuerto El Prat.

Tabla 2: Transporte ferroviario en España

Ciudad	Sistema	Año creación/ actualización	N.º estaciones
Alicante	Metro	2013	71
Barcelona	Metro	2016	165
Málaga	Metro	2014	17
Murcia	Tranvía	2011	28
P. Mallorca	Metro	2013	16
Zaragoza	Tranvía	2011	32

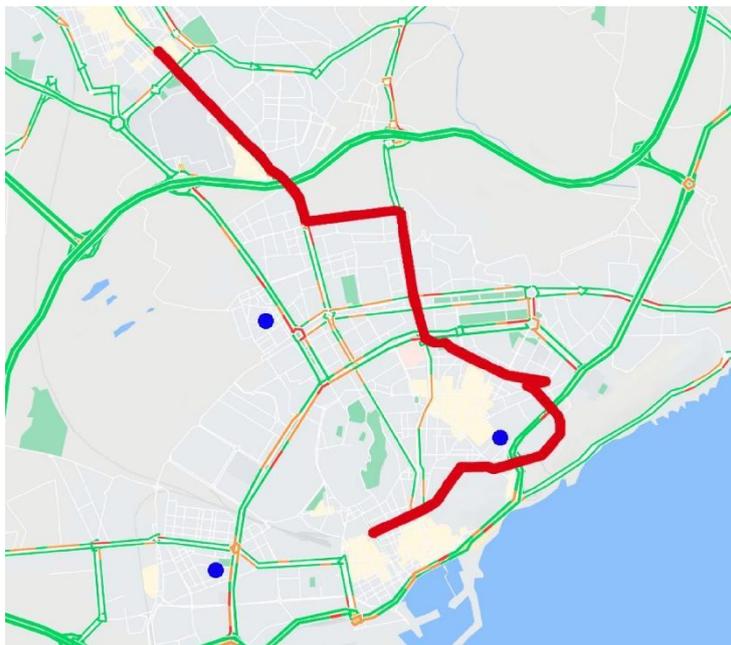
Fuente: Urbanrail.net (<http://www.urbanrail.net/index.html>) y página web de los operadores

En Zaragoza se creó la única línea que contiene en 2011 y todavía no ha sufrido ninguna ampliación. Esto mismo sucede en la ciudad de Murcia desde el año 2011, aunque tienen varias líneas en proyecto. Por último, la isla de Palma de Mallorca tuvo una ampliación de toda la línea M2 en marzo de 2013, aunque la primera creación de este metro fue en el año 2008. En Málaga se construyeron las líneas 1 y 2 del metro en el año 2014 y actualmente no ha sido ampliado.

Se ha realizado una búsqueda de los datos de la calidad del aire de estas ciudades, por lo cual se ha descartado Málaga, Murcia y Zaragoza debido a que solamente se han encontrado datos diarios en una página web y no un histórico con el conjunto de datos de varios años como en el caso del resto de ciudades.

En el caso de la ciudad de Alicante, en septiembre de 2013 se creó toda la línea 2 del metro que va desde San Vicente del Rapeig hasta Luceros, contando con 14 estaciones, una longitud de 8,9 km y una frecuencia de paso de 15 minutos. En esta ciudad se han encontrado 3 estaciones de calidad del aire y la de Florida Babel es la que se encuentra cercana a la nueva línea de metro, las otras dos estaciones Rabassa y El Pla están fuera del rango del metro tal y como se puede observar en el Mapa 1.

Mapa 1: Línea 2 metro y polución Alicante



Fuente: Elaboración propia

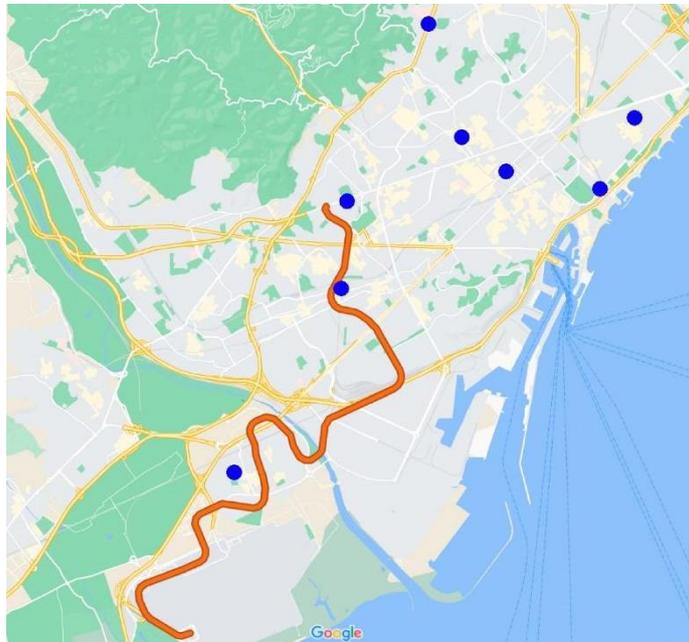
Los datos de esta estación de calidad del aire se han encontrado en la base de datos de la Generalitat Valenciana en el apartado de la Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica. Esta base de datos contiene lecturas desde el 1994 hasta el 2021, diarias u horarias y de todas las estaciones de calidad del aire de la Comunidad Valenciana. Se ha realizado una agrupación de los datos diarios en mensuales y se han unido los datos de las 3 estaciones de Alicante de 2010 a 2018 y así se hará también con el resto de las ciudades.

Dentro de estas medidas se han encontrado varios contaminantes, aunque este proyecto elegirá entre  $PM_{10}$ ,  $O_3$  y  $NO_2$ . Se excluye de esta lista el  $SO_2$  debido a que este contaminante no está estrechamente relacionado con este tipo de transporte y  $PM_{2,5}$  y CO porque no se han encontrado la cantidad de datos suficientes para añadirlos al proyecto.

En el caso de la ciudad de Barcelona, en el pasado febrero de 2016 se creó la línea 9 que recorre desde la Terminal 1 del Aeropuerto de Barcelona hasta Zona Universitaria, no solamente pasando por la ciudad condal sino también por el Hospital del Llobregat y el Prat del Llobregat. Esta nueva línea consta de 15 estaciones y una longitud de 20 km.

Para poder analizar los datos de los contaminantes indicados anteriormente sobre Barcelona, se ha contactado con la Secció d'Immissions del Servei de Vigilància i Control de l'Aire de la Generalitat de Catalunya vía correo electrónico a [aire\\_immissions.tes@gencat.cat](mailto:aire_immissions.tes@gencat.cat) . Este departamento ha facilitado los datos mensuales de todas las estaciones de medida de calidad del aire de Barcelona, Hospitalet de Llobregat y Prat de Llobregat desde 2011 al 2018. Por otro lado, también se han utilizado los datos extraídos de las Dades Obertes de Catalunya con lecturas diarias desde 1991 hasta 2022 de varios contaminantes de diferentes ciudades de Cataluña. Las tres estaciones que se encuentran más cercanas a la L9 mirando el Mapa 2 de norte a sud son Palau Reial, Hospitalet del Llobregat y el Prat del Llobregat.

Mapa 2: Línea 9 metro y estaciones polución Barcelona

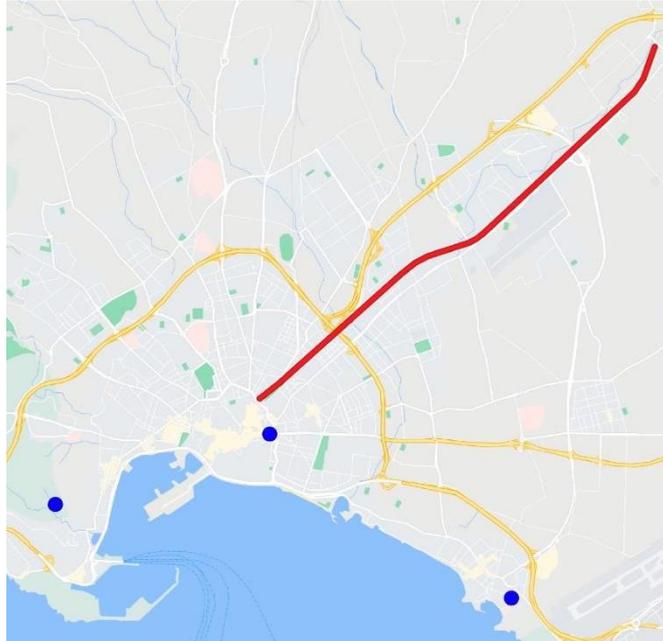


Fuente: Elaboración propia

En la ciudad de Palma de Mallorca, en marzo de 2013 se creó la línea de metro M2, que consta de 10 estaciones, 8,3 km y una duración del recorrido de 14 minutos. Esta línea recorre desde Marratxí hasta la Estació Intermodal de la ciudad, tal y como se puede ver en el Mapa 3. Asimismo, en Palma de Mallorca se han encontrado 3 estaciones de medida de la calidad del aire que son Foners, Parc del Bellver y Sant Joan de Déu, la primera es la que se encuentra próxima a la línea M2.

Los datos correspondientes a estas estaciones se han recuperado contactando con la Secció d'Atmosfera del Servei de Canvi Climàtic i Atmosfera correspondiente a la Direcció General d'Energia i Canvi Climàtic de la Conselleria de Transició Energètica, Sectors Productius i Memòria Democràtica vía correo electrónico a [fjllado@energia.caib.es](mailto:fjllado@energia.caib.es) .

Mapa 3: Línea M2 metro y estaciones polución Palma de Mallorca



Fuente: Elaboración propia

## 5. Resultados

El programa estadístico utilizado para calcular y encontrar los resultados de este proyecto es STATA con esta herramienta se gestionará el panel de datos realizado a partir de las medidas tomadas por cada ciudad y por cada estación de calidad del aire. La base de datos consta de medidas mensuales desde 2010 hasta 2018 de 14 estaciones de calidad del aire repartidas en Alicante, Barcelona y Palma de Mallorca sobre los contaminantes  $PM_{10}$ ,  $O_3$  y  $NO_2$ .

### 5.1 Estadística descriptiva

En este apartado se explicará la estadística descriptiva de la base de datos creada para posteriormente calcular y encontrar los resultados a las hipótesis realizadas anteriormente. Para saber el estado de la muestra de datos se aplica en el comando de STATA `xtset`, el cual nos indica que la muestra está “strongly balanced”, es decir, que

las ciudades no tienen huecos vacíos en el apartado de id. Durante el resto de descripciones se analizarán los datos por estación de calidad del aire debido a que las actualizaciones de los metros no se produjeron el mismo año en todas las ciudades.

Se han realizado resúmenes de las variables de control elegidas y de los diferentes contaminantes por ciudad en los cuales se muestra el número de observaciones, la media, la desviación estándar, el mínimo y el máximo de las variables. En el caso de Alicante la media de PM<sub>10</sub> está en 19,104 µg/m<sup>3</sup>, la de O<sub>3</sub> se encuentra en 58,63 µg/m<sup>3</sup> y, por último, el NO<sub>2</sub> está en 20,735 µg/m<sup>3</sup>. Fijándonos en las variables de control, la media de la población es de 1.886.007 habitantes, el PIB per cápita de 17.592,33 € y las precipitaciones acumuladas de todo el periodo seleccionado de 22,487 l/m<sup>2</sup>.

Tabla 3: Resumen base de datos de Alicante

Variable	Obs.	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
I	324	18,8601	0,4778	18,2533	19,4564
PIB	324	17.592,33	1.187,402	16.141	19.646
prec.	324	22,487	27,5322	0	145,2
PM <sub>10</sub>	208	19,1037	6,5257	4,1613	35,3
O <sub>3</sub>	317	58,6298	14,5107	22,6129	86,0357
NO <sub>2</sub>	311	20,7350	9,9545	6,3226	71,3636

Fuente: Elaboración propia por STATA

Este mismo resumen se ha realizado para la ciudad de Barcelona, tal y como se muestra en la Tabla 4 donde la media de población es de 5.545.444 habitantes, la del PIB per cápita de 27.681,11 € y la de las precipitaciones acumuladas durante 2010 a 2018 es de 37,165 l/m<sup>2</sup>. Para el caso de las variables control se muestra que la media de PM<sub>10</sub> es de 26,176 µg/m<sup>3</sup>, la de O<sub>3</sub> es de 44,826 µg/m<sup>3</sup> y, por último, la de NO<sub>2</sub> es de 39,891 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 4: Resumen base de datos de Barcelona

Variable	Obs.	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
I	864	55,4544	0,2882	55,1115	56,0935
PIB	864	27.681,11	1.742,28	25.832	30.939
prec.	864	37,1648	34,6969	0	150,4
PM <sub>10</sub>	642	26,1763	7,8244	11	80,95
O <sub>3</sub>	610	44,8258	16,1758	10	82
NO <sub>2</sub>	793	39,8912	11,3288	13	78

Fuente: Elaboración propia por STATA

Por último, en la Tabla 5 se encuentra el resumen de la base de datos creada sobre Palma de Mallorca durante el intervalo de años anteriormente indicado. El número de habitantes varía muy poco durante estos años, teniendo una media de 111.226, por otro lado, el PIB per cápita tiene una media de 25.025,89 € y las precipitaciones acumuladas 41,518 l/m<sup>2</sup>. Centrándonos en las variables de control, la media de PM<sub>10</sub> es de 21,071 µg/m<sup>3</sup>, la de O<sub>3</sub> se encuentra en 57,136 µg/m<sup>3</sup> y, para finalizar, la de NO<sub>2</sub> es de 24,40 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 5: Resumen base de datos de Palma de Mallorca

Variable	Obs.	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
I	324	11,1226	0,0780	11,0344	11,2908
PIB	324	25.028,89	1.535,991	23.304	27.847
prec.	324	41,5185	41,3210	0	190,8
PM <sub>10</sub>	289	21,0714	5,2763	8,3929	36,5662
O <sub>3</sub>	296	57,1364	16,8100	16,9675	101,4872
NO <sub>2</sub>	297	24,3998	12,5588	4,5984	75,1216

Fuente: Elaboración propia por STATA

La ciudad con la media de NO<sub>2</sub> más elevada es Barcelona, la de O<sub>3</sub> es Alicante y la de PM<sub>10</sub> es Barcelona. Esta última ciudad es también la que tiene la media más alta de número de habitantes y de PIB per cápita, pero en el caso de las precipitaciones acumuladas, la que tiene niveles más elevados es Palma de Mallorca.

Observando la base de datos de manera general se muestra en la Tabla 6 como el contaminante con menos observaciones de la muestra es el  $PM_{10}$  con 1.139 de las 1.512 que debería tener. Por otro lado, el contaminante con mayor número de observaciones de la muestra general es  $NO_2$  con 1.401.

Tabla 6: Resumen base de datos

Variable	Obs.	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
I	1.512	38,1131	20,1927	11,0344	80,95
PIB	1.512	24.950,9	4.290,933	16.141	30.939
prec.	1.512	34,9525	35,4820	0	190,8
$PM_{10}$	1.139	23,5894	7,6380	4,1613	80,95
$O_3$	1.223	51,3833	17,2096	10	101,4872
$NO_2$	1.401	32,3548	14,2648	4,5984	78

Fuente: Elaboración propia por STATA

La media de  $NO_2$  y  $PM_{10}$  en la ciudad de Barcelona se encuentra por encima de la media general, estando las otras dos ciudades por debajo. Por último, en el caso de  $O_3$ , la que se encuentra por debajo de la media general es Barcelona y el resto de las ciudades analizadas tienen una media más elevada.

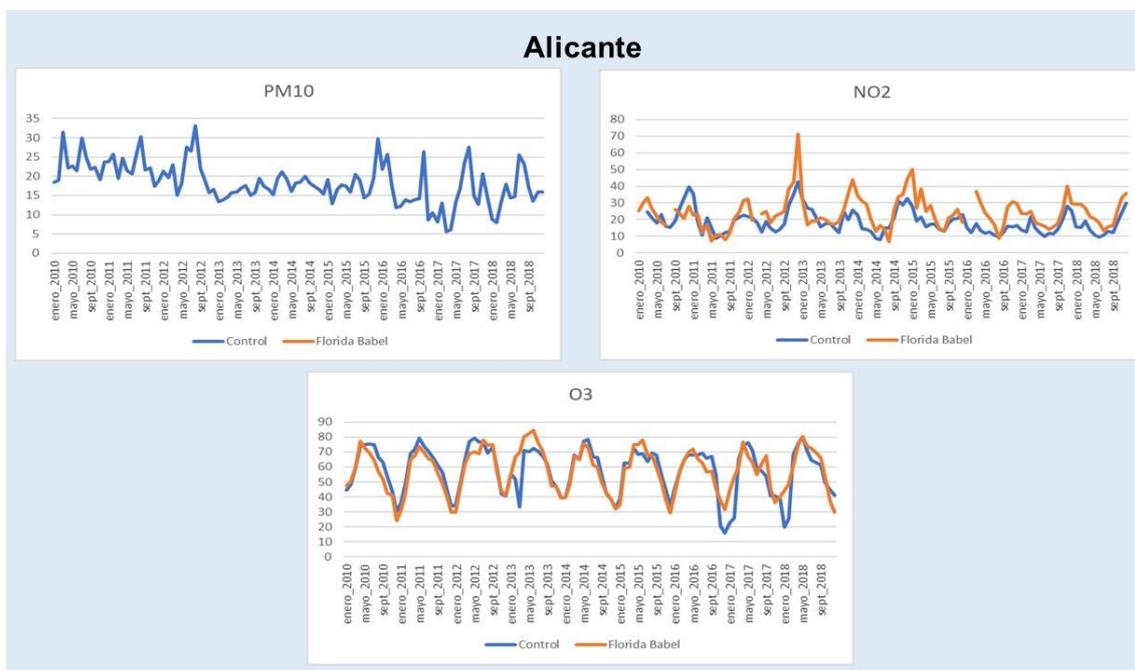
Para poder seguir explicando la muestra de datos de este proyecto se han realizado unos gráficos para poder comparar la evolución de los diferentes contaminantes en las estaciones de calidad del aire control y en las que se han visto afectadas por la actualización o creación del metro en las tres ciudades analizadas en las diferentes ciudades.

Se ha realizado la media de las medidas tomadas en las estaciones de calidad del aire control durante los meses del intervalo de años seleccionado y en los gráficos siguientes se muestra como la línea azul. Por otro lado, la línea naranja corresponde a las medidas de las estaciones afectadas por el metro. Asimismo, en el caso de Palma de Mallorca y Alicante solamente es una estación de calidad del aire, Foners y Florida Babel respectivamente, y en la ciudad de Barcelona se ha hecho la media por meses de las estaciones Palau Reial, Prat del Llobregat y Hospitalet del Llobregat.

Por otro lado, con estos gráficos se debería ver si del periodo que se actualiza o crea el metro en adelante hay una disminución de los niveles de contaminación aérea o si no hay diferencia entre el antes y el después.

En el Gráfico 2 se muestra la combinación de gráficos según los tres tipos de contaminantes analizados en Alicante. El punto donde hay el cambio del metro en esta ciudad es en septiembre de 2013, a partir de este mes se debería ver si la estación de Florida Babel (línea naranja) disminuye o se mantiene.

Gráfico 2: Combinación gráficos de la comparación de las estaciones controles y las afectadas por contaminante en Alicante



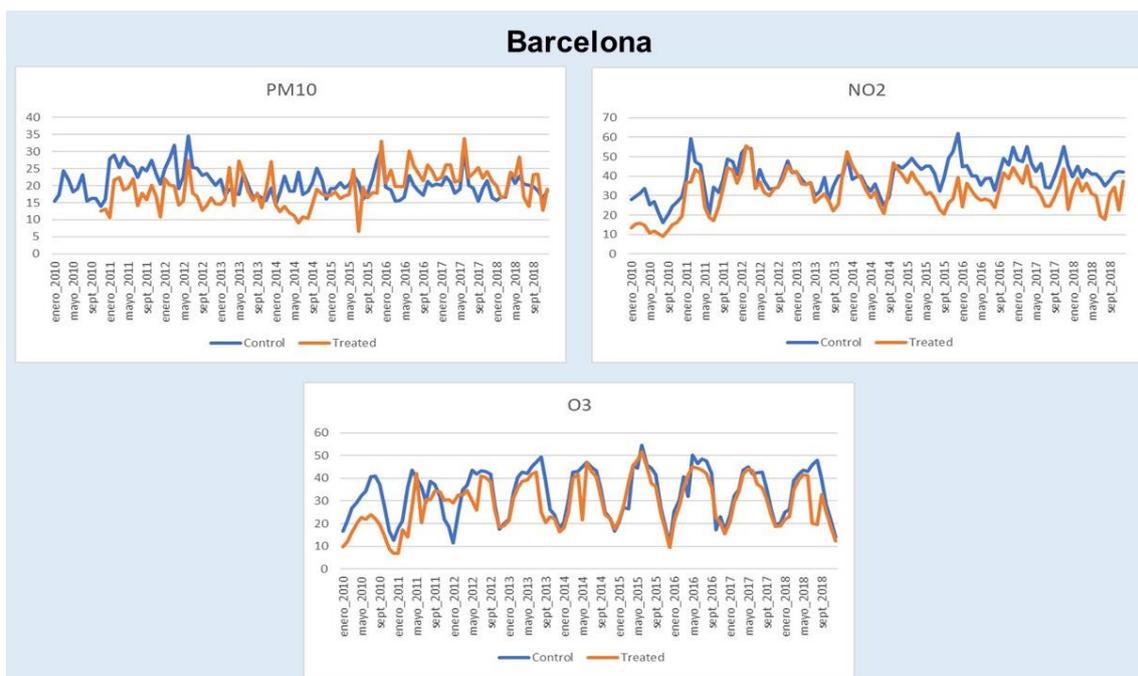
Fuente: Elaboración propia por Excel

Tal y como se muestra en el Gráfico 2, algunos contaminantes carecen de todas las medidas durante todos los meses o solamente durante un mes en concreto. En el caso del contaminante O<sub>3</sub> se puede ver como tiene una repetición cada año del periodo analizado. En el caso de PM<sub>10</sub>, no hay datos tomados desde 2010 a 2018. Por último, el NO<sub>2</sub> en la estación afectada se pueden ver más picos y variabilidad que en las estaciones de calidad del aire control.

Por otro lado, en el Gráfico 3 se observa la evolución durante el periodo analizado de los tres contaminantes en la ciudad de Barcelona, en la cual tres de sus estaciones de

calidad se ven afectadas en febrero de 2016 por la ampliación del metro. En el caso del contaminante  $O_3$  se puede ver como la repetición anual de esta materia en las estaciones afectadas es similar a la de las estaciones controles.

Gráfico 3: Combinación gráficos de la comparación de las estaciones controles y las afectadas por contaminante en Barcelona

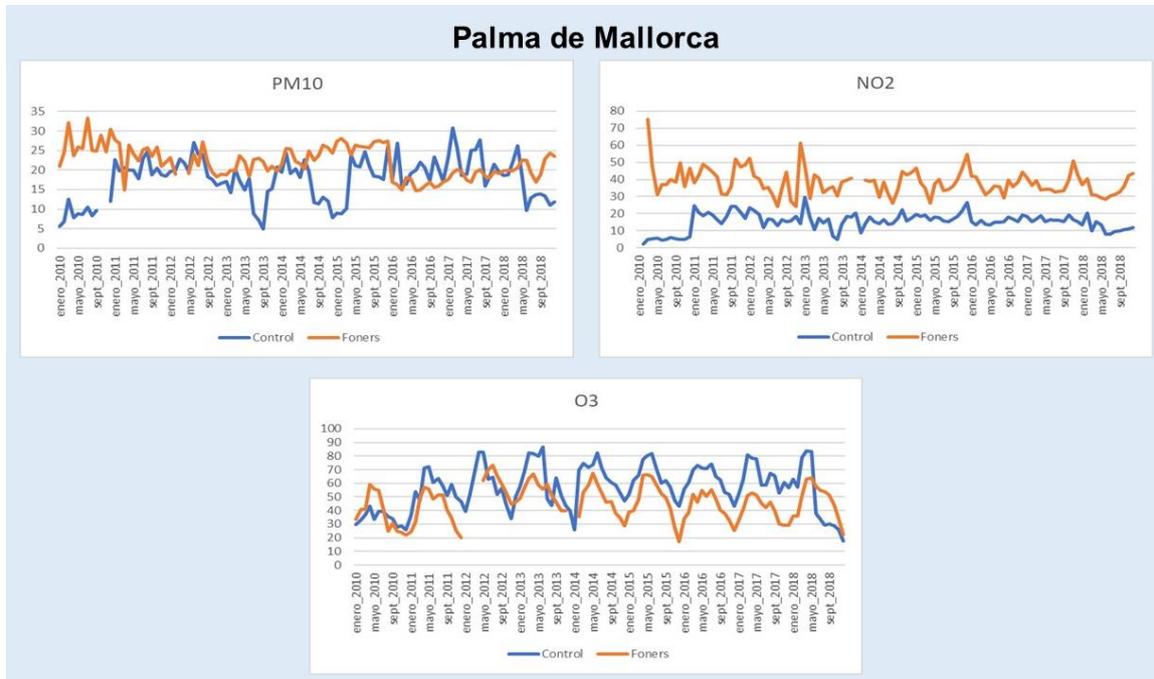


Fuente: Elaboración propia por Excel

Asimismo, en el  $PM_{10}$  se observa que no hay una gran variabilidad anual en ninguno de los dos tipos de estaciones. Por último, en el caso del  $NO_2$  durante los primeros cinco primeros años se muestra que los datos de las estaciones de calidad del aire control y de las afectadas son muy similares y siguen la misma tendencia, pero a partir de 2016 se puede ver como la línea naranja (estaciones afectadas) disminuye en comparación con la línea azul (estaciones control). Esto indica que la ampliación del metro es efectiva respecto a la reducción de este contaminante en esta ciudad.

Para finalizar, en el Gráfico 4 se muestra la evolución de los contaminantes desde 2010 a 2018 en Palma de Mallorca, donde la creación de la línea de metro fue en marzo de 2013. En los datos del contaminante  $O_3$  se observa como las estaciones de calidad del aire control tienen unos niveles más elevados que la estación afectada durante todo el periodo analizado, aunque esta diferencia es más destacada después de la incorporación del metro.

Gráfico 4: Combinación gráficos de la comparación de las estaciones controles y las afectadas por contaminante en Palma de Mallorca



Fuente: Elaboración propia por Excel

En cambio, el  $\text{NO}_2$  sucede totalmente lo contrario, las estaciones de control tienen niveles menores que los de Foners. Por último, la  $\text{PM}_{10}$  en las estaciones de control tiene una gran variabilidad, algo que no sucede en la estación afectada.

## 5.2 Regresión lineal

En este apartado se seguirá analizando la muestra de datos creada con el programa estadístico STATA. Se realiza una regresión lineal para identificar si las variables (metro, población, PIB per cápita y precipitaciones acumuladas) provocan una modificación en los niveles de los tres contaminantes analizados. Se ha decidido no hacer diferenciación por las tres ciudades elegidas, ya que se tendría pocas observaciones y la muestra sería pequeña.

Se ha realizado la Tabla 7 en la cual se muestra el resumen de los resultados de realizar dos tipos de regresiones, con los datos agrupados, es decir, haciendo una desviación estándar agrupada, y con efectos fijos. Como se puede ver, el R-cuadrado de los tres contaminantes es más cercano a 0 que a 1, por lo tanto, este modelo no está muy

ajustado y no es del todo fiable. En las variables control se ha decidido tener en cuenta solamente los coeficientes de los datos agrupados, debido a que es más fiable.

Tabla 7: Resumen regresión lineal

Variables	PM <sub>10</sub>		NO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>	
	Agrupados	Efectos fijos	Agrupados	Efectos fijos	Agrupados	Efectos fijos
emetro	<b>-2,264***</b> (0,624)	-0,799 (0,802)	1,405 (0,859)	<b>-2,188***</b> (0,848)	<b>-4,053***</b> (1,267)	-1,256 (1,665)
lpob	<b>2,842***</b> (0,353)	Sí	<b>8,961***</b> (0,550)	Sí	<b>-7,165***</b> (0,778)	Sí
IPIB	<b>7,605***</b> (1,477)	Sí	<b>15,802***</b> (2,018)	Sí	<b>-7,974**</b> (2,789)	Sí
lprec	-0,397** (0,168)	Sí	0,485* (0,249)	Sí	<b>-1,691***</b> (0,359)	Sí
Constant	<b>-94,378***</b> (12,773)	Sí	<b>-262,923***</b> (17,112)	Sí	<b>243,943***</b> (24,015)	Sí
Años	X	X	X	X	X	X
R-cuadrado	0,154	0,113	0,347	0,282	0,153	0,099
Obs.	1097	1097	1347	1347	1172	1172

Fuente: Elaboración propia por STATA

Tal y como se puede observar, la PM<sub>10</sub> disminuye gracias a la instalación del metro y a las precipitaciones acumuladas, aunque esta última variable solo es significativa al 5%. Por otro lado, el aumento de la población y del PIB per cápita debido a la relación de causalidad generan un aumento en el contaminante PM<sub>10</sub>. Este contaminante consta de 1.097 observaciones, uniendo los datos de las tres ciudades.

En el caso del NO<sub>2</sub> la ampliación o creación de una línea de metro provoca disminución, aunque ninguna otra variable provoca esta bajada de los niveles en este contaminante. Las variables de control de población y PIB per cápita son muy significativas y tienen una relación positiva, por lo que un aumento de estas provoca un aumento del NO<sub>2</sub>. En el caso de las precipitaciones acumuladas es una variable poco significativa, al 6%, pero con su aumento también aumenta este contaminante.

Por último, el O<sub>3</sub> es el contaminante que más disminuye con la ampliación o creación del metro. Asimismo, se observa una disminución con el aumento de las variables de población, PIB per cápita y las precipitaciones acumuladas y de manera muy significativa.

## **6. Conclusiones**

La contaminación atmosférica es un gran problema para la salud de las personas y, aunque en las últimas décadas en Europa se ha ido reduciendo, no lo ha hecho en los niveles suficientes como para que no sea un tema preocupante (EEA, 2020). Por tanto, las ciudades y países siguen implantando medidas para continuar con la evolución descendente de la polución. Una de estas medidas es la inversión en transporte público, como el estudiado en este proyecto, el metro. Los resultados de la implantación o actualización del metro sobre la polución en las ciudades españolas presenta unos resultados negativos.

Tras la realización de los cálculos y de su interpretación se concluye que los contaminantes PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> disminuyen con la incorporación del metro. Por ello, la hipótesis número 3 planteada en la Sección 3 (Objetivos e hipótesis) del proyecto ha sido ratificada. En cambio, la primera y segunda hipótesis planteadas eran erróneas, ya que se indicaban que los contaminantes PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> no iban a variar con la actualización o creación de una nueva línea de metro y según el análisis realizado si han variado los niveles.

Los resultados encontrados indican que el transporte público, en este caso el metro, tiene un efecto favorable sobre la contaminación atmosférica de las ciudades que lo implantan. Este proyecto es un estudio más actual que la literatura encontrada mencionada en la Sección 2.4 (Conclusiones marco teórico) y está realizado sobre ciudades que anteriormente no se habían casi tenido en cuenta, por ello, dos de las hipótesis basadas en la literatura anterior no son acertadas.

Asimismo, este trabajo resalta la importancia de invertir en este transporte público y fomentar su uso en las ciudades españolas y su población para así poderse beneficiar de la no emisión de contaminantes como es el caso de otros tipos de transporte público. A pesar de la falta de datos públicos sobre los niveles de contaminantes, este estudio demuestra que el metro beneficia la polución de las ciudades.

## **7. Recomendaciones**

Como se indicó en la Introducción (Sección 1) este proyecto rellena un hueco de la literatura, ya que no se encuentran artículos sobre la implantación de transporte público

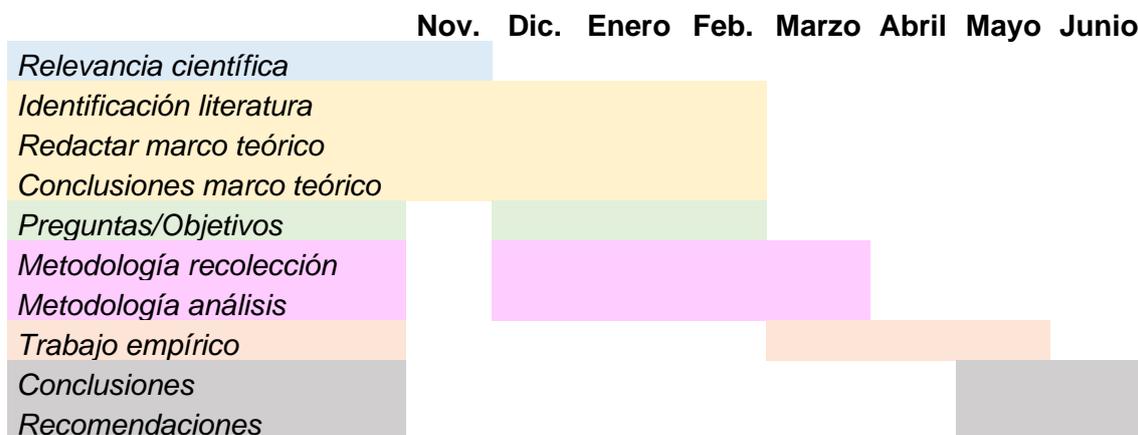
en ciudades españolas. Aun así, se podrían realizar más investigaciones relacionadas con este tema:

- Realizar este tipo de estudio, pero sobre otros contaminantes, otras ciudades u otros años.
- Una comparación entre transportes públicos, como por ejemplo el metro y el autobús dentro de una ciudad.

Todas estas recomendaciones están condicionadas a los datos públicos sobre los niveles de calidad del aire. Por ello, se recomienda una inversión en la creación de estas estaciones, de su mantenimiento y de la actualización de los datos para los usuarios.

Por otro lado, una recomendación referente a las políticas públicas de las ciudades para conseguir la reducción de la contaminación atmosférica sería realizar una mayor inversión en el transporte público estudiado, sobre todo en zonas en las cuales hay una gran cantidad de tráfico, como por ejemplo aumentar el número de líneas de metro y/o su frecuencia.

## 8. Cronograma



## 9. Bibliografía

Agencia Estatal de Meteorología. (2022). *Base de datos histórica de Precipitaciones.*

*Datos clima.* Recuperado 24 de febrero de 2022, de

<https://datosclima.es/Aemehistorico/Lluviasol.php>

Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal. (2019). *Infraestructura del*

*transporte (Anexo 1).* <https://www.airef.es/wp->

[content/uploads/2020/07/INFRAESTRUCTURAS/Anexo-1\\_La-inversion-y-el-stock-de-infraestructuras-de-transporte-en-Espa%C3%B1a.pdf](https://www.sciencedirect.com/journal/research-in-transportation-economics/vol/52/suppl/C)

Beaudoin, J., Farzin, Y. H., y Lawel, C. L. (2015). *Sustainable Transportation* (Vol. 52).

S. L. Handy, C. L. Lawell and D. Salon.

<https://www.sciencedirect.com/journal/research-in-transportation-economics/vol/52/suppl/C>

Beaudoin, J. y Lawell, C. L. (2016). *The effects of urban public transit investment on traffic congestion and air quality*. Urban Transport Systems.

<https://www.intechopen.com/chapters/53369>

Blázquez, N. (2019). *Zonas de Bajas Emisiones. Herramienta contra la contaminación y el calentamiento del planeta*. Ecologistas en Acción.

<https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2019/04/informe-zonas-de-bajas-emisiones.pdf>

Bruyn, S. y Vries, J. (2020). *Health costs of air pollution in European cities and the linkage with transport*. CE Delft.

Chen, Y. y Whalley, A. (2012). *Green infrastructure: The effects of urban rail transit on air quality*. American Economic Journal: Economic Policy, Vol. 4(1), Pg. 58-97.

<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/pol.4.1.58>

Direcció General de Modernització i Administració Digital. (2021). *Catàleg Dades Obertes GOIB. Govern Illes Balears*. Recuperado 24 de febrero de 2022, de

<https://catalegdades.caib.cat/browse?category=Medi+ambient&q=qualitat+aire&sortBy=relevance>

EEA. (2018). *Emissions of the main air pollutants by sector group in the EEA-33*. European Environment Agency. Recuperado 30 de noviembre de 2021, de

[https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/share-of-eea-33-emissions-4#tab-chart\\_1](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/share-of-eea-33-emissions-4#tab-chart_1)

- EEA. (2020). *Contaminación atmosférica*. European Environment Agency. Recuperado 13 de junio de 2022, de <https://www.eea.europa.eu/es/themes/air/intro>
- Fageda, X. (2021). *Do light rail systems reduce traffic externalities? Empirical evidence from mid-size european cities*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* Vol. 92. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921000353>
- Fageda, X., & Flores-Fillol, R. (2018). *Atascos y contaminación en grandes ciudades*. Fundación de Estudios de Economía Aplicada. <https://fedea.net/atascos-y-contaminacion-en-grandes-ciudades/>
- Gendron-Carrier, N., Gonzalez-Navarro, M., Polloni, S. y Turner, M. A. (2020). *Subways and urban air pollution*. National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/papers/w24183>
- Generalitat Valenciana. (2021). *Dades històriques - Qualitat Ambiental - Generalitat Valenciana. Qualitat Ambiental*. Recuperado 18 de febrero de 2022, de <https://agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/datos-historicos>
- Greenpeace. (s.f.). *¿Cómo me muevo por la ciudad de forma sostenible?* Greenpeace España. Recuperado 30 de noviembre de 2021, de <https://es.greenpeace.org/es/que-puedes-hacer-tu/consumo/movilidad/>
- Gu, P., He, D., Chen, Y., Zegras, P. C., & Jiang, Y. (2019). *Transit-oriented development and air quality in Chinese cities: A city-level examination*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* Vol. 68 Pg. 10-25. <https://www.sciencedirect.com/journal/transportation-research-part-d-transport-and-environment/vol/68/suppl/C>
- INE - Instituto Nacional de Estadística. (2020). *INEbase / Economía /Cuentas económicas /Contabilidad regional de España / Resultados*. INE. Recuperado 21 de febrero de 2022, de

[https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736167628&menu=resultados&idp=1254735576581](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736167628&menu=resultados&idp=1254735576581)

INE - Instituto Nacional de Estadística. (2021). *Población por provincias y sexo. (2852).*

INE. Recuperado 23 de febrero de 2022, de <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2852>

INE - Instituto Nacional de Estadística. (2021). *Transporte urbano: metro y autobús en ciudades que dispongan de metro (20193).* INE. Recuperado 30 de noviembre

de 2021, de <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=20193>

Lalive, R., Luechinger, S. y Schmutzler, A. (2013). *Does supporting passenger railways reduce road traffic externalities?*

[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2212735](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2212735)

Li, S., Liu, Y., Purevjav, A.-O., & Yang, L. (2019). *Does subway expansion improve air quality?* Journal of Environmental Economics and Management.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069618309173#bib30>

Mapa Metro. (2021). *Metro Alicante.* TRAM Alicante. Recuperado 18 de febrero de 2022,

de [https://mapa-metro.com/es/Espa%C3%B1a/Alicante/Alicante-Metro-](https://mapa-metro.com/es/Espa%C3%B1a/Alicante/Alicante-Metro-mapa.htm)

[mapa.htm](https://mapa-metro.com/es/Espa%C3%B1a/Alicante/Alicante-Metro-mapa.htm)  
Moovitapp. (2021). *Línea m2: horarios, paradas y mapas - Estació Intermodal (Actualizado).* Moovit. Recuperado 24 de febrero de 2022, de

[https://moovitapp.com/index/es/transporte\\_p%C3%BAblico-line-M2-Mallorca-1923-775506-250755-0](https://moovitapp.com/index/es/transporte_p%C3%BAblico-line-M2-Mallorca-1923-775506-250755-0)

Organización Mundial de la Salud. *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud.* (2021).

Recuperado 22 de diciembre de 2021, de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- Rivers, N., Saberian, S. y Schaufele, B. (2017). *Public Transit and Air Pollution*. University of Ottawa - Graduate School of Public and International Affairs. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3049945](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3049945)
- Salas, M. (2009). *Peajes urbanos: una solución al problema de movilidad*. Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8081>
- Sector transporte. (s. f.). Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado 30 de noviembre de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.aspx>
- Transparencia Catalunya. (2022). *Qualitat de l'aire als punts de mesurament automàtics de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica | Dades obertes de Catalunya*. Dades Obertes Catalunya. Recuperado 4 de abril de 2022, de <https://analisi.transparenciacatalunya.cat/Medi-Ambient/Qualitat-de-l-aire-als-punts-de-mesurament-autom-t/tasf-thgu/data>
- Transports Metropolitans de Barcelona. (2020). *Línea 9 Sur metro Barcelona (L9S)*. Recuperado 21 de febrero de 2022, de <https://www.tmb.cat/es/barcelona/metro/-/lineametro/L9S>
- Zheng, S., Zhang, X., Sun, W., & Wang, J. (2019). *The effect of a new subway line on local air quality: A case study in Changsha*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* Vol. 68 Pg. 26-38. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920917301347>