



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.
Grado en Administración y Dirección de Empresas y
Business Analytics

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA JUSTICIA AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Clave: 201905259

Autor: Jorge Jiménez de Andrade Castañón

Director: Manuel Alejandro Betancourt Odio

MADRID | Abril 2024

RESUMEN

La justicia ambiental se refiere al principio ético y legal que busca garantizar la equidad en la distribución de los riesgos y beneficios ambientales, así como el acceso equitativo a recursos y servicios relacionados con el medio ambiente. Esto implica la protección de los derechos humanos en relación con el medio ambiente, asegurando que todas las personas, independientemente de su origen étnico, nivel socioeconómico o ubicación geográfica, tengan la misma protección contra los impactos ambientales adversos y accedan a un entorno saludable y sostenible.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal explorar la posible presencia de injusticia ambiental en la ciudad de Madrid, un tema de notable importancia en el ámbito ambiental y social contemporáneo. Para ello, se ha llevado a cabo una selección de variables contaminantes, entre las que se incluyen PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂ y SO₂, debido a su comprobada capacidad para afectar adversamente la salud humana y su relevancia en la evaluación de la calidad del aire en entornos urbanos. Al analizar la distribución espacial de estas partículas en relación con indicadores socioeconómicos como la renta media y el desempleo, se busca identificar posibles disparidades ambientales que puedan existir en la ciudad. Este enfoque proporcionará una comprensión más profunda de las inequidades ambientales y facilitará la formulación de políticas y estrategias orientadas a promover la justicia ambiental y mejorar la calidad de vida de todos los habitantes de Madrid.

Palabras clave: justicia ambiental, contaminación, equidad, renta, calidad del aire

ABSTRACT

Environmental justice refers to the ethical and legal principle that seeks to guarantee equity in the distribution of environmental risks and benefits, as well as equitable access to resources and services related to the environment. This implies the protection of human rights in relation to the environment, ensuring that all people, regardless of their ethnic origin, socioeconomic level or geographic location, have the same protection against adverse environmental impacts and access to a healthy and sustainable environment.

The main objective of this research work is to explore the possible presence of environmental injustice in the city of Madrid, an issue of notable importance in the contemporary environmental and social sphere. For this purpose, a selection of pollutant variables has been carried out, including PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂ and SO₂, due to their proven capacity to adversely affect human health and their relevance in the assessment of air quality in urban environments. By analyzing the spatial distribution of these particles in relation to socioeconomic indicators such as average income and unemployment, we seek to identify possible environmental disparities that may exist in the city.

Keywords: environmental justice, pollution, equity, salary, air quality

Índice

1. Introducción.....	1
2. Revisión de la literatura.....	3
3. Metodología.....	5
3.1 Regresión lineal múltiple	6
3.2 Regresión multivariada	7
3.3 Autorregresión espacial	8
4. Aplicación de la metodología al objeto de la investigación	9
4.1 Objeto de la investigación.....	9
4.2 Variables	10
4.2.1 Fuentes de datos	10
4.2.2 Variables de contaminación	11
4.2.4 Variables socioeconómicas	16
4.3 Resultados de Modelos	24
4.3.1 Regresión lineal múltiple	24
4.3.2 Regresión multivariada	25
4.3.3 Autorregresión espacial.....	27
4.4 Conclusiones.....	28
5. Medidas actuales para promover la justicia ambiental.....	33
6. Estrategias potenciales para asegurar la justicia ambiental.....	35
7. Referencias bibliográficas	37
8. Anexos.....	48

1. Introducción

El presente trabajo se desarrolla en un contexto en el que es creciente la preocupación por la igualdad y la equidad de las personas, independientemente de sus características tanto físicas como personales.

El movimiento de la justicia ambiental tiene su origen en Carolina del Norte, Estados Unidos, a raíz de una protesta como consecuencia de la deposición de basura y otros elementos dañinos en Warren County (McGurty, 2009, p. 8), un condado con un alto porcentaje de población Afroamericana. Desde este evento a finales del siglo XX, han sido muchos los investigadores que han tratado de abordar el tema de la justicia social, con la intención de probar si es un fenómeno que persiste en nuestros días.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) define la justicia ambiental de la siguiente manera:

“El trato justo y la participación significativa de todas las personas, independientemente de su raza, color, origen nacional o ingresos con respecto al desarrollo, implementación y cumplimiento de las leyes, reglamentos y políticas medioambientales. Trato justo significa que ningún grupo de personas incluidos los grupos raciales, étnicos o socioeconómicos deben soportar una parte desproporcionada de las consecuencias medioambientales negativas derivadas de operaciones industriales, municipales y comerciales o de los programas y políticas" (EPA, 1998).

De esta manera, se hace necesario delimitar el objetivo principal de este trabajo, que consiste en analizar la existencia de justicia ambiental en la Comunidad de Madrid, específicamente en relación con la calidad del aire y sus posibles implicaciones socioeconómicas. La investigación se centrará en la recopilación y análisis de datos socioeconómicos a nivel municipal en la Comunidad de Madrid, contrastándolos con indicadores de calidad del aire en esas mismas zonas geográficas.

Uno de los puntos centrales de interés es entender cómo la calidad del aire, en términos de contaminantes atmosféricos como partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), entre otros, puede influir de manera desigual en los distintos códigos postales. Muchos estudios científicos han probado que la exposición continua a este tipo de partículas tiene consecuencias muy dañinas para la salud (Salma et al., 2009; Bachoual et al., 2007).

Diversos estudios han establecido una conexión directa entre la contaminación del aire y el aumento de enfermedades respiratorias, como el asma, la bronquitis crónica y otras afecciones pulmonares. Además, se ha demostrado que la exposición prolongada a altos niveles de contaminación atmosférica está asociada con problemas de salud más graves, incluyendo enfermedades cardiovasculares y afectaciones al sistema nervioso (Tran et al., 2020)

En este contexto, el presente trabajo también busca explorar cómo estas condiciones de salud pueden afectar de manera desproporcionada a comunidades con diferentes niveles socioeconómicos. La teoría de la justicia ambiental sostiene que ciertos grupos, como aquellos con bajos ingresos o minorías étnicas, podrían enfrentar una carga desproporcionada de enfermedades y consecuencias negativas para la salud debido a la exposición desigual a la contaminación ambiental.

Combatir la injusticia ambiental presenta una serie de desafíos complejos que abarcan desde factores técnicos hasta cuestiones políticas y sociales. En primer lugar, la diversidad de fuentes de contaminación y la complejidad de los procesos industriales y urbanos dificultan la identificación de las áreas más afectadas y la atribución de responsabilidades. Además, la implementación de medidas correctivas implica un equilibrio delicado entre la protección del medio ambiente y el mantenimiento de la actividad económica, lo que a menudo genera resistencia de sectores industriales.

Desde el punto de vista político, el abordaje de la justicia ambiental requiere un compromiso sostenido y medidas integrales que trasciendan las fronteras administrativas. Las políticas ambientales efectivas deben ser respaldadas por cambios legislativos que promuevan la equidad en la distribución de los beneficios y las cargas ambientales. Asimismo, se requiere una coordinación eficaz entre gobiernos locales, regionales y nacionales para garantizar una aplicación coherente de las normativas.

El cambio de paradigma hacia la justicia ambiental también requiere una conciencia pública y una participación ciudadana activa. La sensibilización sobre los riesgos asociados con la contaminación y la comprensión de su impacto desigual en diversas comunidades son fundamentales para generar apoyo social y político para las medidas correctivas. La transición hacia prácticas más sostenibles y la inversión en tecnologías limpias también son cruciales, pero a menudo enfrentan obstáculos debido a los costes asociados y la resistencia al cambio.

2. Revisión de la literatura

En este apartado, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de la literatura existente sobre justicia ambiental, abordando un campo de estudio en constante expansión y relevancia en el contexto contemporáneo. En los últimos años, se ha observado un notable incremento en el número de estudios dedicados a este tema, especialmente con el creciente interés y preocupación por cuestiones ambientales a nivel global. Esta revisión bibliográfica no solo tiene como objetivo examinar el estado actual del debate en torno a la justicia ambiental, sino también identificar los diferentes modelos y métodos utilizados para abordar esta temática y llegar a conclusiones significativas. Este análisis crítico permitirá comprender mejor los enfoques predominantes, las tendencias emergentes y los desafíos en el campo de la justicia ambiental, proporcionando así un marco sólido para la investigación presente y futura en este ámbito.

La literatura existente sobre justicia ambiental revela una tendencia notable, ya que la mayoría de los estudios se centran en aspectos específicos en lugar de abordar el panorama completo. Algunos (Bell et al., 2012; Cañada Torrecilla et al., 2017; Valls Hernández, 2018; Moreno-Jiménez, 2016) investigan una única partícula contaminante o una variable socioeconómica particular, como la raza, la renta media o el desempleo, sin considerar el efecto conjunto de todas las variables principales de contaminación o su impacto en la salud y el bienestar de las comunidades. También encontramos otros estudios que se centran en variables de contaminación que no se refieren a partículas, como la contaminación sonora por tráfico de vehículos (Bocquier et al., 2013) o por aviones (Sobotta et al., 2007). Existen también otros trabajos que utilizan variables sintéticas para el apartado socioeconómico, como el índice de Atkinson (Rosofsky et al., 2018; Levy et al., 2006) o índices de privación (Mitchell & Norman, 2012).

Por otro lado, encontramos estudios (Cañada Torrecilla et al., 2011; Meixler et al., 2023; Nunez et al., 2024) que se enfocan en aspectos metodológicos, como los modelos para medir la calidad del aire en diferentes áreas urbanas o las correlaciones entre variables contaminantes y socioeconómicas, a menudo descuidando la exploración cualitativa. Este estudio se propone abordar estas limitaciones integrando todos estos aspectos. Utilizaremos modelos que abarquen las principales variables contaminantes y las aplicaremos a una amplia gama de variables socioeconómicas. Además, el enfoque será tanto cuantitativo como cualitativo para comprender mejor la justicia ambiental.

Con el propósito de profundizar en las conclusiones de los estudios previamente mencionados, se ha realizado un análisis detallado de algunos de ellos, centrándose en la exploración de las variables utilizadas para medir la contaminación atmosférica y las características socioeconómicas consideradas. Este enfoque permitirá una comprensión más completa de los hallazgos y posibles patrones identificados en la literatura existente sobre justicia ambiental.

El análisis de Cañada Torrecilla et al. (2011) se centra en la extrapolación de datos de contaminación atmosférica en Madrid. Su enfoque se basa en el indicador que cuenta los días con concentraciones de PM_{10} superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como una medida de los niveles de contaminación, excluyendo otras partículas contaminantes. Respecto a las variables socioeconómicas, se limita a utilizar el indicador de renta familiar disponible. Los resultados del estudio sugieren que las áreas con rentas extremas, tanto más bajas como más altas, presentan una clara desventaja al experimentar un mayor número de días con altas concentraciones de PM_{10} . Sin embargo, la situación en las áreas con rentas medio-bajas es más variable, mientras que las áreas con rentas medias parecen estar en línea con el promedio de la ciudad. Además, es relevante destacar que las conclusiones del estudio son sensibles al método de extrapolación utilizado, así como a las variables contaminantes y socioeconómicas consideradas en el análisis.

El estudio realizado por Rosofsky et al. (2018) utiliza las concentraciones de $PM_{2.5}$ y NO_2 como variables de contaminación, aunque se abordan de manera independiente en lugar de considerarlas conjuntamente. Respecto a las variables socioeconómicas, se toman las variables de raza, renta media (mediante el índice de Atkinson) y el nivel educativo. Las conclusiones afirman que los grupos más afectados son los no hispanos de raza negra, personas con menor nivel educativo y hogares con ingresos anuales inferiores a \$20,000, tanto para las concentraciones de NO_2 como de $PM_{2.5}$ en todo el estado de Ohio, Estados Unidos. Se sugiere que una de las razones detrás de esta situación es la mayor concentración de estas poblaciones vulnerables en áreas urbanas, donde se encuentran las principales fuentes de contaminación. A pesar de la identificación de estos grupos más afectados, el estudio señala que esta disparidad en la exposición a la contaminación atmosférica no ha variado significativamente a lo largo del tiempo, lo que indica una persistencia en la desigualdad ambiental en el estado.

Por último, El estudio de Miranda et al. (2011) investiga las concentraciones de $PM_{2.5}$ y ozono como factores de contaminación, abordándolos de forma individual sin

considerar su interacción. En términos socioeconómicos, analizan la raza, la edad y el umbral de pobreza establecido por el gobierno de Estados Unidos para clasificar a la población. Sus hallazgos muestran que los condados con las peores condiciones de $PM_{2.5}$ tienen una mayor proporción de población afroamericana, menos personas mayores de 64 años, más personas en situación de pobreza y, para $PM_{2.5}$ diario, una población total mayor. Además, encuentran que los condados con peor calidad de aire en ozono tienen una mayor proporción de población afroamericana, más niños menores de 5 años, menos personas en situación de pobreza y una población total mayor. Al analizar a una escala geográfica más detallada, observan relaciones significativas entre raza, edad, pobreza y calidad del aire tanto para $PM_{2.5}$ como para ozono. Estos resultados indican una disparidad en la calidad del aire entre distintos grupos demográficos en Estados Unidos. Además, señalan la falta de estaciones de monitoreo del aire en áreas con mayor pobreza y desventaja social, lo que dificulta el estudio de estas zonas.

3. Metodología

La revisión de la literatura ha arrojado luz sobre las limitaciones presentes en algunos de los estudios previos sobre la justicia ambiental. Por ello, he optado por emplear tres modelos de regresión que permitirán explorar las diversas relaciones entre las variables socioeconómicas y las de contaminación atmosférica. Estos modelos no solo nos brindarán una comprensión más profunda de estas relaciones, sino que también nos ayudarán a superar algunas de las limitaciones identificadas en la revisión de la literatura. Los modelos seleccionados incluyen el modelo de regresión múltiple, el modelo de regresión multivariado y el modelo de autorregresión espacial. En particular, el modelo de regresión multivariado nos permitirá considerar el efecto conjunto de todas las variables contaminantes, en lugar de analizar cada una por separado. Por otro lado, el modelo de autorregresión espacial nos brindará la oportunidad de explorar las relaciones entre variables, teniendo en cuenta los efectos de proximidad entre las distintas estaciones de medición de la Comunidad de Madrid. Estos enfoques metodológicos nos permitirán obtener una comprensión más completa y detallada de la justicia ambiental en la región.

3.1 Regresión lineal múltiple

El modelo de regresión lineal describe las relaciones existentes entre una variable dependiente, en este caso las distintas partículas de contaminación, y una o varias variables independientes, en este estudio las variables socioeconómicas. Para determinar estas relaciones, el modelo es el siguiente:

$$y = \beta_0 + \sum_{k=1}^K (\beta_k * X_{ij}) + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n$$

Donde:

- β_0 es el término constante del modelo
- β_k es el coeficiente asignado a cada X_{ij}
- n es el número de observaciones
- X_{ij} es la observación i de la variable independiente j
- ε_i es el error aleatorio

De este modo, el coeficiente muestra el impacto que cada variable independiente tiene en la variable dependiente (Mathworks, 2024).

Este modelo nos permite cuantificar la naturaleza y la fuerza de las relaciones entre las variables de contaminación y las variables socioeconómicas, lo que es esencial para comprender el impacto de las condiciones socioeconómicas en la calidad del aire y, por ende, en la justicia ambiental. Además, la simplicidad del modelo de regresión lineal lo hace accesible y fácil de interpretar, lo que es crucial para comunicar los hallazgos a una audiencia amplia, incluidos los responsables de la toma de decisiones y el público en general. Este es un punto especialmente importante ya que, como se detallará en un apartado posterior, uno de los objetivos de conocer las relaciones entre variables socioeconómicas y contaminantes es la de implementar políticas orientadas a la equidad ambiental. Por ello, es necesario hacer uso de un modelo que sea sencillo y fácil de comprender por el público general.

3.2 Regresión multivariada

En este estudio, se empleará un enfoque innovador mediante la aplicación de un modelo de regresión multivariada que considera múltiples variables dependientes simultáneamente. La regresión multivariada es una técnica estadística que permite analizar la relación entre una variable dependiente y dos o más variables independientes, teniendo en cuenta la interacción entre estas últimas. A diferencia de la regresión univariada, donde se examina la relación entre una sola variable dependiente y una o más variables independientes, la regresión multivariada ofrece la ventaja de capturar las complejas relaciones que pueden existir entre varias variables dependientes y sus predictores, lo que proporciona una visión más completa y detallada del fenómeno estudiado (Stata.com, s.f.).

Este modelo se basa en un número q de ecuaciones (en función del número de variables dependientes), y un número p de variables independientes. Con ello, la estimación de los parámetros se realiza con la siguiente ecuación:

$$B = (X'WX)^{-1}X'WY$$

Donde Y es una matriz de n (número de observaciones) $\times q$ y X es una matriz de $n \times p$. Por otro lado, W es una matriz de pesos que, en nuestro caso, será igual a la matriz identidad, ya que otorgaremos el mismo peso a todas las variables (Stata.com, s.f.).

A menudo, este enfoque es más realista ya que muchos fenómenos del mundo real están influenciados por múltiples factores que interactúan entre sí. Es importante destacar que, a pesar de las ventajas de la regresión multivariada, gran parte de la literatura existente se ha centrado tradicionalmente en análisis univariados, lo que puede limitar la comprensión completa de los fenómenos estudiados al no tener en cuenta las posibles interacciones entre las variables. En este sentido, la aplicación de un modelo multivariado en este estudio representa un avance significativo que permite explorar de manera más exhaustiva las relaciones entre las variables de interés y obtener una comprensión más profunda de los procesos subyacentes.

3.3 Autorregresión espacial

Los modelos autorregresivos espaciales constituyen una herramienta fundamental en el análisis de datos espaciales, permitiendo capturar y comprender la estructura de dependencia espacial presente en las observaciones. A diferencia de los modelos de regresión estándar, donde se asume independencia entre las observaciones, los modelos autorregresivos espaciales reconocen y modelan explícitamente la correlación espacial entre las unidades geográficas. Esta correlación se manifiesta a través de la influencia que tienen las observaciones vecinas en cada una, reflejando la idea de que las unidades geográficas cercanas comparten características similares. En estos modelos, la variable de respuesta está influenciada por sus propios valores pasados, así como por los valores de las observaciones vecinas, lo que refleja la dependencia espacial inherente a los datos. Al considerar tanto la autocorrelación espacial como las relaciones de dependencia con las variables explicativas, los modelos autorregresivos espaciales ofrecen una perspectiva más completa para comprender y predecir fenómenos espaciales, siendo especialmente útiles en campos como el del presente trabajo, donde la proximidad geográfica juega un papel crucial en la dinámica de los procesos estudiados (Griffith, 2009; Stata, 2023).

Para calcular los parámetros se lleva a cabo el siguiente modelo:

$$y = \sum_{k=1}^K \beta_k X_k + \sum_{p=1}^P \gamma_p W_p X_p + \sum_{r=1}^R \lambda_r W_r y + u$$
$$u = \sum_{s=1}^S \rho_s M_s u + \epsilon$$

Donde:

- y es un vector de n observaciones para la variable dependiente (en nuestro caso cada partícula contaminante)
- X_k es un vector de n observaciones de la variable independiente
- β_k es el parámetro
- W_p, W_r, M_s son las matrices de pesos espaciales
- $W_p X_p, W_r y, M_s u$ son los vectores que describen los desfases (*lags*) para las

variables independientes, para la variable dependiente y para el error, respectivamente

Es necesario mencionar que para utilizar modelos autorregresivos espaciales en Stata, es necesario convertir los datos a un formato especial conocido como "Shapefile" (archivo .shp). Este formato es ampliamente utilizado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y permite almacenar datos geoespaciales, como puntos, líneas y polígonos, junto con atributos asociados a cada elemento geográfico. En este caso los atributos asociados son las coordenadas de latitud y longitud de cada código postal.

4. Aplicación de la metodología al objeto de la investigación

4.1 Objeto de la investigación

La presente investigación cuenta con tres objetivos:

En primer lugar, el objetivo principal es examinar las relaciones entre las variables de contaminación atmosférica y las variables socioeconómicas para determinar si existe una distribución desigual de la contaminación en la ciudad y sus efectos asociados en diferentes grupos demográficos.

En segundo lugar, este análisis pretende proporcionar información relevante para el diseño e implementación de políticas públicas orientadas a promover la equidad ambiental en Madrid. En este sentido, el análisis tratará de combinar modelos complejos con otros más sencillos, de cara a poder ser explicados a cargos públicos que puedan tomar decisiones en este ámbito. Además, los modelos empleados en este estudio no se limitarán exclusivamente a las variables destinadas a analizar la inequidad ambiental, como la renta media o el paro, sino que también incorporan otros factores adicionales que pueden incidir en la calidad del aire y, por ende, en la toma de decisiones relacionadas. Estas variables complementarias, como la altitud o si se trata de una zona rural, proporcionan información adicional sobre los códigos postales y otros elementos del entorno que pueden influir en los niveles de contaminación atmosférica. La inclusión de estos datos en los modelos permite una evaluación más completa y fundamentada de la situación ambiental en diferentes áreas, lo que, a su vez, facilita la adopción de decisiones informadas en materia de políticas y planificación urbana. De

esta manera, se promueve una visión integral que considera diversos aspectos del entorno urbano, contribuyendo así a una gestión más eficaz y equitativa de los recursos ambientales.

Además, otro objetivo fundamental de esta investigación es contribuir al avance de la literatura sobre justicia ambiental mediante el uso de modelos innovadores y la inclusión de variables socioeconómicas y contaminantes que no suelen ser consideradas en estudios previos. Se busca explorar nuevas perspectivas y enfoques metodológicos que puedan proporcionar una comprensión más completa de la relación entre la contaminación atmosférica y las disparidades socioeconómicas en Madrid. Al hacerlo, se pretende enriquecer el cuerpo de conocimientos existente y generar nuevas ideas para futuras investigaciones en el campo de la justicia ambiental.

La elección de la Comunidad de Madrid como objeto de estudio es particularmente relevante debido a varios factores. En primer lugar, Madrid es una de las regiones más pobladas de España, con una densidad demográfica significativa. La concentración de actividades industriales, comerciales y urbanas en la capital y sus municipios circundantes contribuye a niveles elevados de contaminación atmosférica.

Además, la topografía y condiciones climáticas específicas de la región, como la inversión térmica, pueden dar lugar a la acumulación de contaminantes, exacerbando los problemas de calidad del aire (Ayuntamiento de Madrid, 2024). La relevancia de abordar la justicia ambiental en Madrid radica en la necesidad de garantizar que todas las comunidades, independientemente de su posición socioeconómica, tengan acceso a un entorno saludable y estén protegidas de los impactos negativos de la contaminación atmosférica. Este análisis pretende arrojar luz sobre posibles disparidades y proporcionar información útil para el diseño de políticas que promuevan la equidad ambiental en la región.

4.2 Variables

4.2.1 Fuentes de datos

Los datos utilizados para las variables socioeconómicas han sido obtenidos a través de varias fuentes: Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, Catálogo de datos abiertos de la Comunidad de Madrid y el

portal de Estadística del Ayuntamiento de Madrid. Ha sido necesario combinar los datos de estas fuentes debido al nivel de detalle que ofrece cada una de ellas, y así poder comparar datos a nivel de código postal.

El periodo seleccionado ha sido entre 2015 y 2019, ya que es el periodo más reciente que no cuenta con ninguna circunstancia extraordinaria que pueda modificar el resultado de este estudio (evitando la pandemia de 2020). Teniendo en cuenta que los datos socioeconómicos tienen un nivel de detalle mensual o anual, la periodicidad de los datos utilizados para este estudio es mensual. En aquellos en los que los datos proporcionados por las distintas fuentes sólo estuvieran disponibles a nivel anual, se ha procedido a extrapolar estos al nivel mensual. Por ejemplo, en el caso de la renta media se ha asumido que esta no varía de un mes para otro, manteniendo así el mismo valor para todos los meses del año.

4.2.2 Variables de contaminación

Las variables de contaminación seleccionadas para este estudio han sido el ozono (O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2), el dióxido de azufre (SO_2) y las partículas en suspensión con un tamaño menor a 2.5 y 10 micrómetros ($PM_{2.5}$ y PM_{10} , respectivamente). Estas han sido escogidas debido a su alta presencia en núcleos urbanos y las consecuencias negativas que provocan en la salud, que analizaremos a continuación.

El ozono es uno de los actores prevalentes en el aire que respiramos, y uno de los principales indicadores de la calidad del mismo. Diversos estudios han analizado los efectos en la salud de una prolongada exposición a altos niveles de O_3 . Esta exposición puede provocar problemas severos en el aparato respiratorio, especialmente en los pulmones. Además, los menores son los principales perjudicados, al estar en fase de desarrollo (Rosser, 2022). Otros estudios analizan las consecuencias que el ozono tiene en la mortalidad en mayores de 30 años, concluyendo que aumenta el riesgo de muerte hasta en un 5.4% (Rashidi et al., 2023). Por último, un estudio conducido en China durante cinco años determinó que más de 186 000 muertes anualmente son atribuibles a una exposición prolongada a altos niveles de ozono (Wang et al., 2020).

Del mismo modo, el dióxido de nitrógeno también ha sido objeto de numerosos estudios, con el objetivo de encontrar las consecuencias que el NO_2 tiene en nuestra

salud. Su principal fuente es el tráfico, como resultado de la combustión en los motores, además del tabaco y electrodomésticos que utilicen gas, carbón, madera o aceite como elemento principal (Jarvis et al., 2010). Un estudio en Polonia realizado entre 2016 y 2017 concluyó que un aumento en los niveles de NO₂ provocó un aumento significativo en los casos de bronquitis y asma, suponiendo también un aumento en el número de hospitalizaciones con un decalaje de varios días (Kowalska et al., 2020). En Estados Unidos, los resultados obtenidos de diversos estudios son los mismos, concluyendo que una exposición prolongada a dióxido de nitrógeno resulta en un incremento en casos de asma, un mayor número de infecciones de oído, garganta y nariz, y un riesgo mayor de coagulación de la sangre, especialmente en adultos (Jarvis et al., 2010).

El dióxido de azufre es uno de los contaminantes con mayor relevancia, debido a sus efectos severos en el sistema respiratorio, cardiovascular y nervioso, provocando enfermedades, como la diabetes tipo 2, e incluso incrementando el riesgo de mortalidad (Khalaf et al., 2022). Otros estudios han puesto el foco en el incremento en la mortalidad que el dióxido de azufre provoca, recalcando además el incremento del riesgo cuando este contaminante se junta con otros como el dióxido de nitrógeno o el ozono (Orellano et al., 2021).

Por último, las partículas en suspensión, tanto las menores de 2.5 micrómetros como las menores de 10, han sido las que más relevancia han tenido en los últimos años. Estas partículas son responsables de más de 4 millones de muertes anualmente y sus efectos en la salud son devastadores, afectando varios sistemas esenciales del cuerpo, como el respiratorio y el cardiovascular (Feng et al., 2016; Xing et al., 2016; Fiordelisi et al., 2017).

4.2.3 Análisis preliminar de las variables de contaminación

Este apartado se presenta con el objetivo de proporcionar una visión general de la evolución de las variables de contaminación a lo largo del tiempo y su correlación entre sí.

En primer lugar, podemos observar cierta correlación entre las distintas partículas contaminantes escogidas para este estudio. La mayor correlación la encontramos entre el ozono y el dióxido de nitrógeno, a pesar de ser una correlación negativa de 0.79. Por

otro lado, las partículas en suspensión $PM_{2.5}$ y PM_{10} tienen una correlación positiva de 0.65. Del resto de partículas cabe destacar la correlación positiva de 0.58 entre el SO_2 y el NO_2 , mientras que el las demás cuentan con una correlación menor.

	PM25	PM10	SO2	O3	NO2
PM25	1				
PM10	0.65	1			
SO2	0.25	0.26	1		
O3	-0.34	-0.14	-0.42	1	
NO2	0.45	0.37	0.59	-0.80	1

Figura 1: Matriz de correlación de variables contaminantes

Por otro lado, los niveles de concentración de estas partículas han fluctuado a lo largo de los años, aunque se han mantenido en rangos similares en el periodo comprendido entre 2015 y 2019. Cabe destacar el ciclo que siguen algunas de las partículas, como es el caso del ozono, en la que los niveles varían en gran medida dependiendo de la estación del año. En el siguiente gráfico podemos observar la evolución de estas partículas de manera mensual. En los sucesivos apartados analizaremos cada una de las partículas por separado.

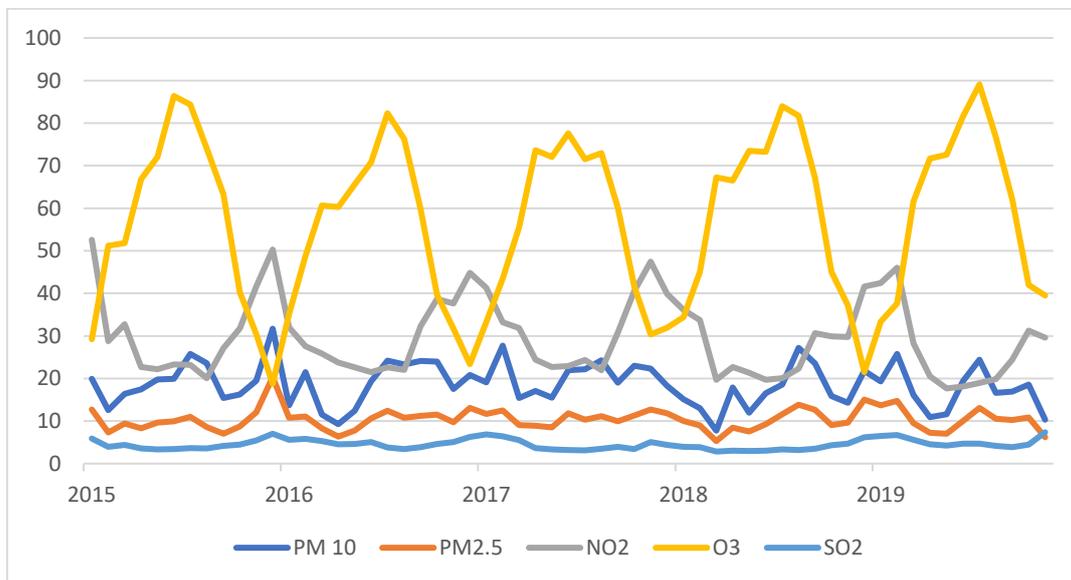


Figura 2: Evolución de los niveles de concentración de los contaminantes

Ozono

Como podemos observar en la figura, los niveles de ozono siguen un ciclo anual, con niveles muy altos durante los meses calurosos (de mayo a septiembre) mientras que la concentración disminuye en gran medida durante los meses fríos (de octubre a abril). Esto ha sido objeto de estudio en el pasado, en el que se han encontrado hallazgos

corroborando la periodicidad de los niveles de concentración de ozono (Selvaraj et al., 2013). Además, durante los meses de mayor concentración los niveles de O_3 superan el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud de 60 (WHO, 2021).

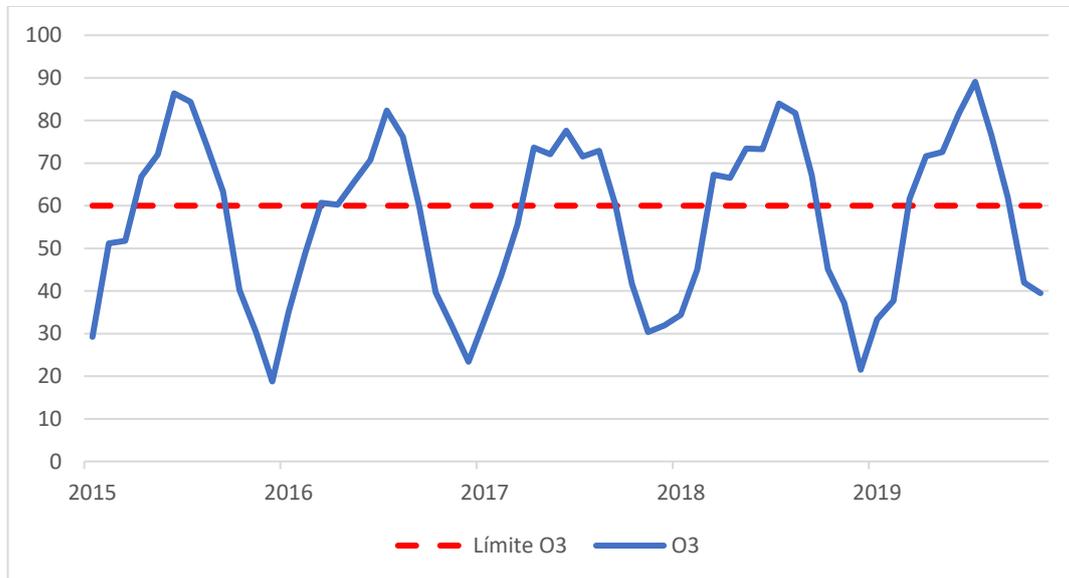


Figura 3: Evolución de los niveles de concentración de O_3

PM_{2.5}

En cuanto a los niveles de concentración de partículas en suspensión menores de 2.5 micrómetros observamos que no siguen un patrón o un ciclo definido. Los niveles fluctúan siempre por encima del límite recomendado por la OMS (WHO, 2021), llegando a su máximo a finales de 2015.

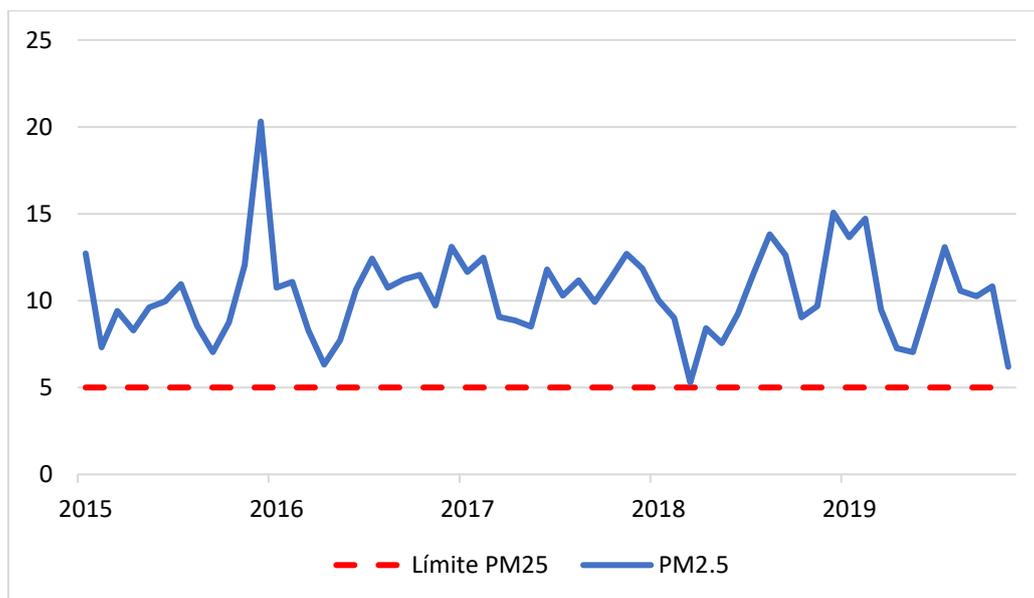


Figura 4: Evolución de los niveles de concentración de PM_{2.5}

PM₁₀

De manera similar al PM_{2.5}, las partículas en suspensión menos a 10 µm no siguen un patrón determinado, fluctuando independientemente de la época de año. Como podemos observar en la figura a continuación los valores se mantienen por encima del límite establecido por la OMS, con algunas excepciones (WHO, 2021).

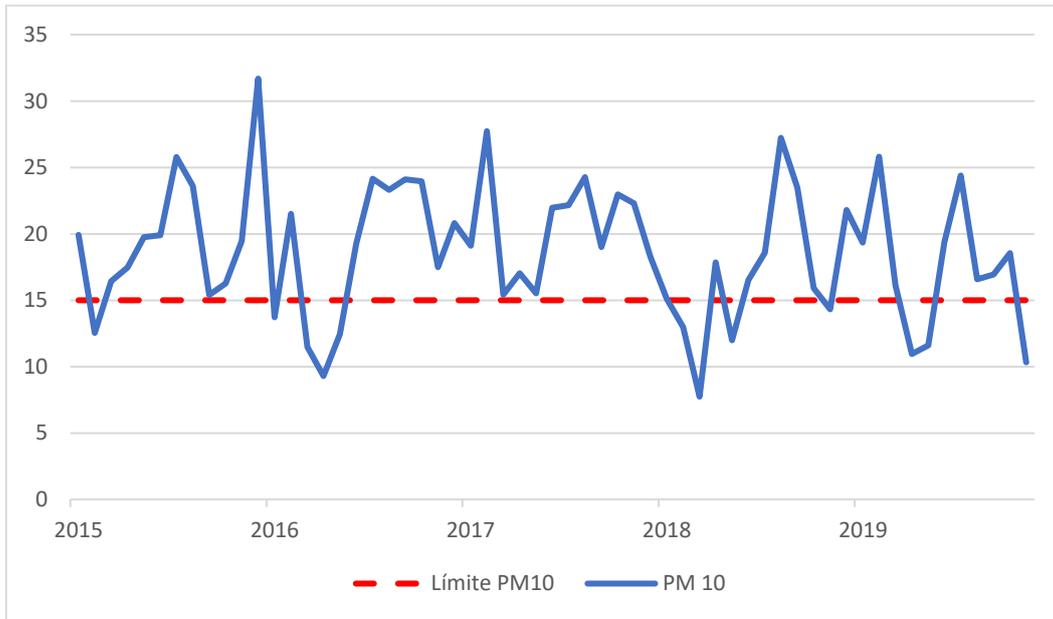


Figura 5: Evolución de los niveles de concentración de PM₁₀

SO₂

Los niveles de concentración de SO₂ se han mantenido estables a lo largo del periodo de estudio, siendo ligeramente superiores entre los meses de noviembre y febrero. Es necesario destacar que estos niveles se han mantenido muy por debajo del límite recomendado por la OMS durante todo el periodo (WHO, 2021).

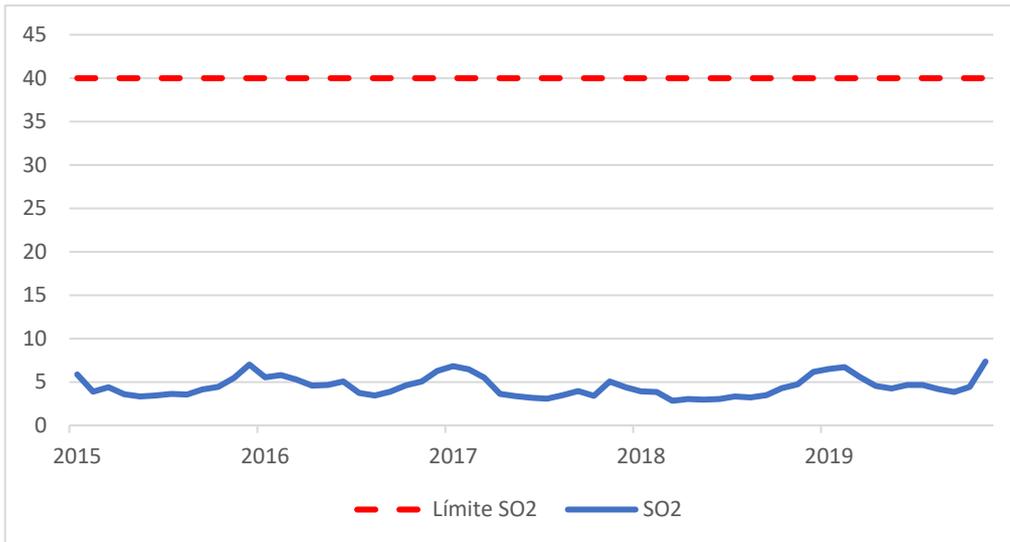


Figura 6: Evolución de los niveles de concentración de SO₂

NO₂

Por último, los niveles de concentración de dióxido de nitrógeno siguen un patrón anual, de manera inversa al ozono. En los meses más fríos del año, la concentración de este contaminante incrementa, mientras que los niveles más bajos se encuentran en los meses más calurosos.

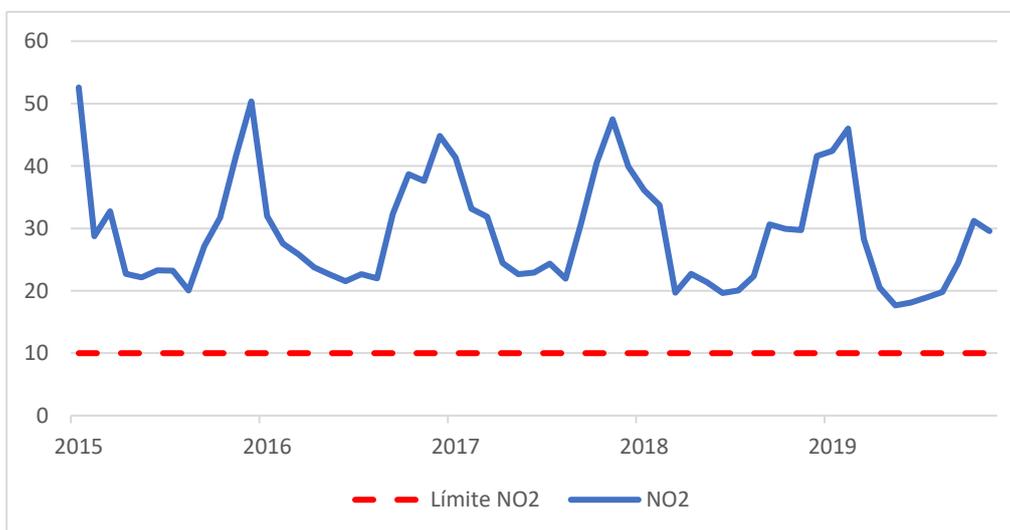


Figura 7: Evolución de los niveles de concentración de NO₂

4.2.4 Variables socioeconómicas

La elección de las variables socioeconómicas se ha visto limitada por la disponibilidad de datos que proporcionarían una variable geográfica en ellos, a nivel de municipio o

código postal. Por otro lado, esta elección también ha llevado un estudio racional de cómo podrían relacionarse las variables socioeconómicas con los niveles de contaminación, de manera que tengan relevancia en el ámbito de la justicia ambiental.

Como he explicado previamente, estas variables podemos dividirlos en dos segmentos diferenciados. Un primer segmento que busca estudiar la posible existencia de injusticia ambiental. Este es el caso de variables como la renta media o el paro, con las que podremos analizar los códigos postales más desfavorecidos con los niveles de polución.

Por otro lado, el segundo grupo engloba variables que facilitarán y enriquecerán la toma de decisiones una vez hayamos solventado la cuestión de la existencia de la justicia ambiental.

Variables para probar la justicia ambiental

Renta Media

Renta media anual por código postal. Esta es una de las variables principales en este estudio, ya que es la mejor manera de comparar la situación socioeconómica de los distintos códigos postales. Como consecuencia de ello, es la variable que más se ha tratado en estudios en las últimas décadas. Los resultados de todos ellos, a pesar de que los estudios varían en cuanto a la geografía y al periodo en el que se realizan, coinciden en que personas con rentas bajas tienen una mayor exposición a niveles perjudiciales de PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂ y SO₂, entre otros contaminantes (Rosofsky et al., 2019; Mikati et al., 2018; Miranda et al., 2011; Mohai et al., 2009; Agyeman et al., 2016; Bell et al., 2012)

Extranjeros

Porcentaje de extranjeros por código postal. Las ciudades que cuentan con un mayor número de extranjeros son a menudo las mismas que tienen una mayor actividad económica, siendo esto el principal atractivo para atraer a personas extranjeras. De esta manera, el presente estudio busca estudiar si esta relación es real.

Por otro lado, también busca analizar si los inmigrantes se ven perjudicados al vivir en códigos postales que cuenten con una peor calidad del aire. Diversos estudios han

tratado este tema, atribuyendo los resultados a la injusticia ambiental. Ehgler et al. analizaron en 2023 este fenómeno en Alemania, concluyendo que la población inmigrante en núcleos urbanos estaba expuesta a $2.55 \mu/m^3$ más de NO_2 y a $0.22 \mu/m^3$ más de $PM_{2.5}$ comparado con la población nativa. Otro estudio con un objetivo similar pero con el foco en Estados Unidos obtuvo unos resultados similares. La exposición a partículas en suspensión es un 3.8% mayor para inmigrantes comparado con personas nacidas en Estados Unidos. Además, la cifra de muertes prematuras por estas partículas es también mayor en el caso de extranjeros. Asimismo, también existen diferencias dependiendo de la procedencia de estos inmigrantes, siendo los más afectados los provenientes de África, Asia y Latinoamérica, mientras que los provenientes de Europa, Oceanía y América del Norte son los menos perjudicados (Fong et al., 2021).

Edad Media

Edad media de los habitantes por código postal. El objetivo de introducir esta variable en el estudio es analizar qué segmento de la población, en términos de edad, es el expuesto a mayores niveles de contaminantes. Por otro lado, también tiene el objetivo de analizar si la relación puede ser inversa, de manera que estos segmentos de población no sean las víctimas de esa calidad de aire, sino la causa. BBVA Research realizó un estudio en 2023 tratando este aspecto, dividiendo la población por grupos de edad y analizando las emisiones de CO_2 que cada uno produce. Los resultados del estudio concluyen que es el grupo entre 35 y 40 años el que más emisiones produce, mientras que el de menores de 25 el que menos, seguido por el grupo de mayores de 70 (BBVA Research, 2023). Es necesario también mencionar que los dos grupos que menos producen son además los más afectados por la calidad del aire. Los niños, debido a que están desarrollando las vías respiratorias y los pulmones, sumado a que respiran de manera más frecuente, son más vulnerables a una peor calidad del aire. Por otro lado, los mayores de 65 son el segundo grupo más vulnerable, debido al deterioro de su sistema respiratorio y su sistema inmunológico (American Lung Association, 2023).

Densidad

Densidad de población por código postal, calculada con el número de habitantes y la superficie en metros cuadrados. La densidad de población es la causa principal de mayor tráfico en las ciudades que, de la misma manera, es el factor que más repercusión tiene en la calidad del aire en núcleos urbanos. Diversos estudios han tratado el problema de la densidad de población y su relación con la polución en ciudades. Los resultados concluyen que un incremento de un 1% en la densidad de población incrementa la presencia de diversas partículas dañinas. Por ejemplo, tomando las partículas que se han seleccionado en este estudio, la presencia de PM_{2.5} y PM₁₀ incrementan alrededor de un 0.08%. Por otro lado, los resultados son más graves para partículas de NO₂, ya que aumentan en un 0.25% por cada incremento de 1% en la densidad de población (Borck et al., 2021).

El efecto de esta variable es aún más grave en países con núcleos urbanos con una alta concentración de población. Este es el caso de China, que en las últimas décadas ha visto como densidad de población y partículas en suspensión incrementaban de manera similar (Han et al., 2018).

Mayores de 65

Porcentaje de la población mayor de 65 años por código postal. El objetivo de introducir esta variable en el estudio es mostrar la exposición que uno de los grupos de población más vulnerable tiene a la calidad del aire. Diversos estudios han tratado este tema, analizando las consecuencias de la polución en personas de mayor edad. Andrade et al. concluyen que los efectos medioambientales en este segmento de población provocan efectos negativos en la salud cardiovascular al igual que en la salud mental (Andrade et al., 2023). Otros estudios concluyen que una prolongada exposición a partículas en suspensión afecta de manera negativa y significativa la salud de los pulmones, con un retraso desde que se detecta la peor calidad del aire hasta que se muestran los primeros síntomas en la salud. En concreto, las partículas PM_{2.5} son las que provocan efectos más graves, afectando negativamente al flujo espiratorio forzado, uno de los indicadores esenciales de salud respiratoria (Liao et al., 2022).

Mujeres

Porcentaje de mujeres por código postal. Diversos estudios han centrado el foco en analizar las consecuencias de la polución en las mujeres comparándolo con su contrapartida. Los resultados son dispersos, aunque muchos apuntan a consecuencias negativas que se ven especialmente reflejadas en la salud mental. El estudio de Kioumourtzoglou et al. en 2017 analizó el comportamiento de más de 40 000 mujeres a lo largo de 10 años en distintas circunstancias ambientales, tomando como medida la concentración de partículas en suspensión y de ozono para la calidad del aire. El estudio concluye que las mujeres que han sido expuestas a mayores niveles de PM_{2.5} y de ozono tienen un riesgo moderado superior a padecer depresión. Por otro lado, otro estudio concluye que el nivel de “satisfacción de vida” está asociado de manera negativa con los niveles percibidos de polución, así como con los niveles reales de calidad de aire (MacKerron, 2009). Por último, otro estudio analiza la relación entre la discapacidad cognitiva y la polución de aire, concluyendo que existe una relación entre los síntomas de depresión y las personas que viven en áreas cercanas a autopistas, con peor calidad del aire (Altua et al., 2020)

Paro

Número de parados por código postal. El objetivo de introducir esta variable en el estudio es el de comparar las zonas de la comunidad de Madrid con mayor desempleo con la calidad del aire a la que están expuestas. A priori, aquellas zonas con mayor actividad económica y, consecuentemente, menor desempleo, deberían ser las zonas con mayor contaminación. Por otro lado, queremos analizar también si las zonas con mayor tasa de desempleo, a menudo las más desfavorecidas, se ven expuestas a peor calidad del aire.

Tamaño Hogar

Tamaño medio del hogar por código postal. Este puede ejercer una influencia significativa sobre los niveles de contaminación atmosférica en una región determinada.

En primer lugar, el tamaño del hogar medio está estrechamente ligado al consumo energético residencial. Los hogares más grandes suelen requerir una mayor cantidad de

energía para calefacción, refrigeración y otros fines domésticos, lo que puede contribuir a una mayor emisión de contaminantes atmosféricos, especialmente si la energía proviene de fuentes contaminantes como la quema de combustibles fósiles.

Además, el tamaño del hogar medio puede afectar los patrones de movilidad dentro de una comunidad. Los hogares más grandes, típicamente asociados con un mayor número de residentes, pueden tener más vehículos, lo que aumenta el tráfico local y, consecuentemente, las emisiones de contaminantes atmosféricos.

Asimismo, la densidad residencial también puede variar en función del tamaño del hogar medio en un área determinada. En regiones con hogares más grandes, es probable que la densidad residencial sea menor, lo que podría implicar una menor concentración de fuentes de contaminación locales.

Por último, la capacidad económica asociada con hogares más grandes puede permitir una mayor inversión en tecnologías más eficientes desde el punto de vista energético, como sistemas de calefacción y refrigeración más modernos o vehículos más limpios. Esta inversión podría resultar en una menor contribución a la contaminación atmosférica en comparación con hogares más pequeños que pueden tener recursos limitados para invertir en tecnologías más limpias.

Variables suplementarias para la toma de decisiones

Altitud

Altitud media de cada código postal. Diversos estudios (U.S. EPA, 1978; Hongzhu et al., 2018) han analizado la correlación existente entre la altitud y la calidad del aire y la contaminación, llegando a la conclusión de que, en efecto, existía una correlación positiva entre la altitud y la calidad del aire. Por otro lado, otro estudio (Dash et al., 2023) ha analizado el comportamiento de las plantas en función de la altitud, obteniendo resultados que muestran mejores condiciones para plantas en mayores altitudes. Específicamente, estas plantas contaban con menor acumulación de metales pesados y mayor tolerancia a la polución en el aire (APTI, air pollution tolerance index).

M30

Variable dicotómica que divide los códigos postales en aquellos que están en el interior de la M30. La Calle 30 o M30 es una de las principales arterias de la Comunidad de Madrid, y la vía española más transitada diariamente. Cada día, alrededor de 1.3 millones de personas la utilizan (Echagüe, 2023). Las consecuencias de estos datos son determinantes en la contaminación de la capital española, y es por ello por lo que se ha incluido esta variable en el estudio. Además, la ciudad de Madrid concentra la mayor parte de su actividad económica en el interior de esta carretera, lo que hace aún más relevante su estudio.

Por otro lado, es también necesario mencionar las consecuencias que tiene vivir cerca de carreteras y autopistas, debido a los altos niveles de tráfico. La Organización Mundial de la Salud explica que la calidad del aire se ve perjudicada en las proximidades de carreteras. El efecto es muy significativo en partículas ultrafinas, monóxido de carbono, NO₂ y otros metales; mientras que los niveles de partículas en suspensión se mantienen similares. Además, otros factores como el deterioro de la goma de las ruedas o la abrasión de la carretera contribuyen también a una peor calidad del aire (WHO Regional Office for Europe, 2013).

Número de Vehículos

Número de vehículos registrados en cada código postal. El objetivo de introducir esta variable es analizar cómo se relaciona el número total de vehículos con la calidad del aire. Además, también tiene el objetivo de ver la evolución de esta a lo largo de los años, y cómo un cambio de un período a otro puede afectar a la polución y a los niveles de partículas en suspensión.

Defunciones

Número de defunciones por mes por código postal. La calidad del aire es un factor clave en la salud, y una exposición continuada puede acarrear consecuencias graves, como enfermedades del sistema respiratorio e incluso la muerte. Diversos estudios (Stanley Young et al., 2017; Aithal et al., 2023; Giannadaki et al., 2016) han tratado la relación entre la polución del aire y el desarrollo de enfermedades respiratorias en distintos

segmentos de población y geografías, obteniendo todos resultados similares, en los que se demuestra la relación que guardan estos dos eventos. Otro estudio analizó las consecuencias positivas que llevaría cumplir las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (WHO) en países del Este de Asia. Los resultados muestran que se podrían evitar 3.1 millones de muertes anuales en esta región, además de los positivos efectos económicos que también produciría (Egerstrom et al., 2023).

Población

Censo de población por código postal. De manera similar con la densidad de población, el número absoluto de habitantes es también un factor clave en la calidad del aire. Diversos estudios tratan la relación entre el crecimiento de la población y la calidad del aire, concluyendo que hay una correlación positiva entre aumentos de población con el deterioro de la calidad del aire (Weber & Sciubba, 2019).

Rural

Códigos postales que han recibido ayudas del plan de revitalización de municipios rurales. La comunidad de Madrid lanzó en 2023 un plan de ayudas con el objetivo de revitalizar los municipios rurales, para ello realizó una clasificación de los municipios en rurales o urbanos. Para este estudio, la clasificación de los códigos postales ha sido la misma que la que realizó la Comunidad de Madrid (Comunidad de Madrid, 2018).

ZBE

Variable dicotómica que clasifica los códigos postales en función de si pertenecen a la Zona de Bajas Emisiones (ZBE) del ayuntamiento de Madrid. La implementación de la ZBE busca mantener los valores de dióxido de nitrógeno (NO₂) por debajo del límite establecido en la Ley de calidad del aire y protección de la atmósfera y el Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire (Ayuntamiento de Madrid, s.f.). Esta variable nos permitirá conocer el impacto que las medidas de calidad del aire tienen realmente, además de observar quienes son los beneficiados de estas medidas en cuanto al resto de variables en este estudio.

4.3 Resultados de Modelos

Con el fin de presentar de manera más clara los resultados de cada modelo, se ha procedido a resumir las salidas generadas por Stata, centrándonos en la significancia estadística de las relaciones entre las variables contaminantes y las variables socioeconómicas. Para ello, se ha establecido un umbral de significancia del 95%, lo que nos permite identificar de manera más precisa las relaciones que son estadísticamente relevantes en nuestro análisis. Este enfoque nos permite simplificar la interpretación de los resultados y resaltar las asociaciones más significativas entre las variables estudiadas, facilitando así la comprensión de los hallazgos y sus implicaciones para la investigación sobre la justicia ambiental.

4.3.1 Regresión lineal múltiple

Con el objetivo de resumir la información obtenida a raíz de los modelos de regresión lineal múltiple, la siguiente figura muestra un resumen de las relaciones existentes entre las distintas variables contaminantes y socioeconómicas. Las flechas verdes indican una relación significativa positiva; las flechas rojas, relación significativa negativa; y, por último, las flechas amarillas muestran una relación no significativa.

	PM25	PM10	SO2	NO2	O3
Altitud	↓	↓	↓	↓	→
Defunciones	→	↑	→	↑	↓
Densidad	→	→	→	↓	→
Edad Media	→	↓	↓	↓	↑
Extranjeros	↓	↑	↓	→	→
M30	↑	→	→	↑	↓
Mayores de 65	→	→	→	→	→
Mujeres	↓	→	→	→	→
Vehículos	→	→	↓	→	→
Tasa de Paro	→	↑	↓	→	→
Población	→	↓	↑	↑	→
Renta Media	↓	↓	↑	→	↓
Rural	↓	↓	↓	↓	↑
Superficie	→	↓	↓	↓	↑
Tamaño Hogar	↑	↓	↓	↓	↑
ZBE	→	→	↑	↓	↓

Figura 8: Resumen de resultados de modelos de regresión lineal

Como esperábamos, encontramos una relación negativa entre las variables contaminantes y las variables de altitud y municipios rurales. En la literatura analizada previamente, se había demostrado que aquellos municipios con mayor altitud y en zonas rurales tienden a tener una mejor calidad del aire. La superficie de los códigos postales es otra de las variables que tiene una relación significativa negativa con la mayor parte de los contaminantes.

Por otro lado, las variables de porcentajes de mujeres, mayores de 65 y densidad poblacional, no tienen una relación significativa con la mayoría de las partículas contaminantes. Cabe destacar la sorprendente falta de significancia con la densidad de población, a pesar de que fuera un factor significativo en la literatura estudiada previamente. Además, esta falta de significancia mostraría que tanto los mayores de 65 como las mujeres no sufren una carga superior de contaminantes comparado con el resto de la población.

En cuanto a la variable de extranjeros podemos observar que hay distintas asociaciones dependiendo de la partícula contaminante. Mientras que los municipios con un mayor número de extranjeros se ven perjudicados por una mayor concentración de PM_{10} , ocurre lo contrario con el dióxido de azufre y el $PM_{2.5}$.

En cuanto a la renta media, podemos observar que en los códigos postales con un ingreso superior la concentración de $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 es inferior a aquellos códigos postales de menores ingresos. Ocurre el efecto contrario con el dióxido de azufre, mientras que los niveles de NO_2 no muestran una relación significativa.

4.3.2 Regresión multivariada

Como se explica en un apartado anterior, la regresión multivariada tiene en cuenta los efectos de las variables independientes en varias variables dependientes al mismo tiempo.

La siguiente figura muestra un resumen de las relaciones existentes entre las distintas variables contaminantes y socioeconómicas

	PM25	PM10	SO2	NO2	O3
Altitud	↓	↓	↓	→	→
Defunciones	→	↑	→	↑	↓
Densidad	→	→	↑	↓	→
Edad Media	→	↓	↓	↓	↑
Extranjeros	↓	↑	↓	↓	→
M30	↑	→	→	↑	↓
Mayores de 65	→	→	→	↑	→
Mujeres	→	→	↑	→	→
Vehículos	→	→	→	→	→
Tasa de Paro	→	→	↓	→	→
Población	→	→	↑	↑	→
Renta Media	↓	↓	↑	↑	→
Rural	↓	↓	↑	↓	↑
Superficie	→	→	→	↓	↑
Tamaño Hogar	↑	→	↓	↓	↑
ZBE	→	→	↑	↓	→

Figura 9: Resumen de resultados de modelos de regresión multivariada

En este caso, la variable de altitud se mantiene con una relación significativa negativa con la mayoría, mientras que la variable de municipios rurales muestra más contradicciones entre las distintas variables contaminantes.

La edad media tiene una relación significativa negativa con 3 de las 5 variables contaminantes, siendo la que más relaciones de este tipo tiene. Esto muestra que a menor edad media de código postal, los niveles de contaminación son superiores, siendo así los jóvenes los perjudicados por ello.

La variable de extranjeros tiene una relación significativa negativa con las variables de PM_{2.5}, SO₂ y NO₂, mostrando que en aquellos códigos postales con un mayor número de extranjeros, la concentración de estos contaminantes es menor. Sin embargo, guarda una relación significativa positiva con la variable de PM₁₀.

Por otro lado, la renta media cuenta con 2 variables contaminantes con una relación significativa positiva, y con otras dos variables guarda una relación significativa negativa.

El resto de variables tienen un comportamiento similar, combinando variables con relación significativa tanto positiva como negativa, siendo el número de vehículos la única variable que no contiene ninguna relación significativa con los contaminantes.

La falta de consistencia de cada variable socioeconómica con su relación con las variables contaminantes provoca que no podamos concluir con seguridad que ciertos códigos postales se vean más perjudicados que otros por una peor calidad del aire.

4.3.3 Autorregresión espacial

Por último, utilizaremos un modelo espacial autorregresivo espacial para estudiar las relaciones entre las variables socioeconómicas y las variables de contaminación.

Con el objetivo de resumir los resultados obtenidos al utilizar este modelo espacial autorregresivo, la siguiente tabla muestra las variables que guardan un nivel de significancia con cada una de las variables de polución. Para más detalle, los *outputs* del modelo se encuentran en el Anexo de este trabajo.

	PM25	PM10	SO2	NO2	O3
Altitud	↓	↓	↑	↓	↑
Defunciones	↓	↑	↓	↓	↑
Densidad	↑	↓	→	↑	↓
Edad Media	→	↓	↑	↑	↓
Extranjeros	↓	↑	↓	↓	↑
M30	↑	↓	↓	↑	→
Mayores de 65	→	↓	↓	↓	↑
Mujeres	↓	↓	↑	↑	↓
Vehículos	↓	↓	↓	↑	↓
Tasa de Paro	→	→	↑	→	↓
Población	↑	↓	↑	↑	↓
Renta Media	↑	↓	↓	↑	↓
Rural	→	→	→	→	→
Superficie	↓	→	↓	↓	↑
Tamaño Hogar	↓	↓	↑	↓	↑
ZBE	↓	↑	→	↓	↑

Figura 10: Resumen de resultados de modelos espaciales autorregresivos

Como podemos observar, las variables que presentan significancia, tanto negativa como positiva, han aumentado notablemente comparado con los otros modelos que se han utilizado previamente.

En este caso, predomina una significancia negativa en el caso de la altitud, al igual que en las variables de vehículos, mayores de 65, extranjeros y tamaño del hogar. Sin

embargo, para todas estas variables encontramos significancia positiva con ciertas partículas contaminantes.

Por otro lado, únicamente en la variable de población encontramos una predominancia de variables contaminantes con significancia positiva aunque, de nuevo, hay significancia negativa con otras variables de contaminación.

La gran variabilidad de significancias, tanto positivas como negativas, en las asociaciones entre variables socioeconómicas y contaminantes atmosféricos dificulta la obtención de conclusiones definitivas sobre si ciertos grupos económicos se ven más perjudicados por unos contaminantes que por otros. Esta diversidad de relaciones indica que la influencia de las características socioeconómicas en la exposición a la contaminación atmosférica es compleja, y está influenciada por una serie de factores contextuales. Por lo tanto, resulta difícil establecer patrones claros que permitan identificar qué grupos económicos podrían estar más afectados por la calidad del aire en términos de contaminantes específicos, a partir de los resultados obtenidos por el modelo espacial de autorregresión.

4.4 Conclusiones

En este trabajo, se ha abordado la tarea de explorar las relaciones entre variables socioeconómicas y variables de contaminación para examinar la posible existencia de inequidad ambiental en la comunidad de Madrid. Con este propósito, se ha empleado un enfoque exhaustivo que incluye el análisis de un total de cinco variables contaminantes y diversas variables socioeconómicas relevantes. Esta amplia gama de variables se seleccionó con el objetivo de capturar la complejidad y diversidad de factores que podrían influir en la distribución desigual de la contaminación atmosférica en la región.

Para lograr este análisis detallado, se han utilizado tres modelos diferentes. En primer lugar, se implementó un modelo de regresión lineal, que se caracteriza por su simplicidad y facilidad de interpretación. Este modelo fue seleccionado con el propósito de ofrecer una herramienta accesible para explicar los hallazgos a un público amplio, incluidos los responsables de la toma de decisiones en materia ambiental. La claridad y transparencia de este modelo lo hacen especialmente útil para comunicar los resultados y sus implicaciones de manera efectiva.

Además del modelo de regresión lineal, se han empleado modelos más avanzados y complejos, como el modelo multivariado y el modelo de autorregresión espacial. Estos modelos representan un avance significativo respecto a los enfoques utilizados en trabajos previos sobre el mismo tema. Su aplicación permite explorar relaciones más profundas y complejas entre las variables, teniendo en cuenta la interdependencia espacial de los datos y la influencia mutua entre las diferentes variables. Esta elección responde a la necesidad de utilizar herramientas analíticas más sofisticadas para capturar la complejidad de los procesos subyacentes y proporcionar una comprensión más completa de la inequidad ambiental en la comunidad de Madrid.

Al analizar con mayor detalle los resultados de los tres modelos utilizados en este estudio, se observa una diversidad de conclusiones, reflejada en las significancias de las variables contaminantes en relación con las variables socioeconómicas. Debemos destacar que estas significancias son dispares y no coinciden entre los modelos, lo que subraya la complejidad de la relación entre las variables estudiadas.

En las siguientes tablas, podemos observar un resumen de los resultados obtenidos. Para la construcción de las mismas he asignado un valor en función del nivel de significancia. Un valor de 1, en caso de significancia positiva; un valor de -1, en caso de significancia negativa; y un valor de 0 en caso de no tener significancia. Después, he sumado los valores obtenidos de los modelos y he asignado flechas de distintos colores en función del resultado obtenido, de manera similar con las tablas anteriores.

	Regresión Lineal	Regresión Multivariada	Autoregresión Espacial
Altitud	↓	↓	↓
Defunciones	↑	↑	↓
Densidad	↓	→	→
Edad Media	↓	↓	→
Extranjeros	↓	↓	↓
M30	↑	↑	→
Mayores de 65	→	↑	↓
Mujeres	↓	↑	↓
Vehículos	↓	→	↓
Tasa de Paro	→	↓	→
Población	↑	↑	↑
Renta Media	↓	→	↓
Rural	↓	↓	→
Superficie	↓	→	↓
Tamaño Hogar	↓	→	↓
ZBE	↓	→	→

Figura 11: Resumen de resultados según modelo utilizado

	PM25	PM10	SO2	NO2	O3	Total
Altitud	↓	↓	→	↓	→	↓
Defunciones	→	↑	→	→	→	→
Densidad	→	→	→	→	→	→
Edad Media	→	↓	→	→	→	↓
Extranjeros	↓	↑	↓	↓	→	↓
M30	↑	→	→	↑	↓	↑
Mayores de 65	→	→	→	→	→	→
Mujeres	↓	→	↑	→	→	→
Vehículos	→	→	↓	→	→	↓
Tasa de Paro	→	→	→	→	→	→
Población	→	↓	↑	↑	→	↑
Renta Media	→	↓	→	↑	↓	↓
Rural	↓	↓	→	↓	↑	↓
Superficie	→	→	↓	↓	↑	↓
Tamaño Hogar	→	↓	→	↓	↑	↓
ZBE	→	→	↑	↓	→	→

Figura 12: Resumen de resultados según partícula contaminante

Al considerar las variables socioeconómicas más relevantes por modelo, se observa que la renta media presenta una relación negativa con la contaminación, especialmente evidente en el modelo de regresión lineal. Sin embargo, las conclusiones varían según la partícula contaminante y el modelo utilizado. Es importante destacar que para la partícula PM_{10} , existe una significancia negativa en los tres modelos, lo que sugiere que los grupos de renta media más baja están más afectados por esta contaminante.

En cuanto a la variable de desempleo, se observa una baja significancia en la relación con una mayor concentración de contaminantes. No observamos significancia especial con ninguno de los contaminantes, y en cuanto a los modelos de regresión, únicamente encontramos una significancia negativa con el modelo multivariado.

Al analizar el porcentaje de extranjeros, nuevamente se encuentran conclusiones dispares dependiendo de la partícula contaminante. Se observa una clara significancia negativa para las partículas $PM_{2.5}$, SO_2 y NO_2 , mientras que para la variable PM_{10} se encuentra una significancia positiva, lo que sugiere que los códigos postales con un mayor número de extranjeros están expuestos a una mayor concentración de PM_{10} , pero a una menor de $PM_{2.5}$, NO_2 y SO_2 .

En cuanto al porcentaje de mujeres, de nuevo, las conclusiones dependen de la partícula y del modelo. Ocurre de manera similar con las variables de mayores de 65 y de tamaño del hogar.

Por otro lado, el análisis de las variables suplementarias, apoyará las decisiones tomadas en torno a los resultados. Por ejemplo, las políticas aplicadas en zonas de gran altitud o zonas rurales, no necesitarán un esfuerzo igual que las aplicadas en zonas dentro de la M30, debido a la gran diferencia de significancias entre estas variables.

En resumen, los resultados obtenidos muestran una clara diversidad de conclusiones entre los modelos utilizados en este estudio. Es necesario destacar que la renta media es la variable socioeconómica más afectada, con una connotación negativa, evidenciando que los grupos de rentas inferiores están más expuestos a concentraciones altas de contaminantes atmosféricos.

La gran diferencia en las significancias resalta la fuerte dependencia del modelo utilizado para obtener conclusiones, lo que subraya la necesidad de considerar cuidadosamente el contexto y las limitaciones de los modelos al interpretar los hallazgos. Además, las conclusiones que extraigamos de este análisis sobre la justicia ambiental también están influenciadas por otros factores, como las variables seleccionadas (tanto socioeconómicas como contaminantes), la fuente de los datos o el período de estudio utilizado. Esta conclusión se encuentra respaldada por una variedad de trabajos relacionados con el tema (Cañada Torrecilla et al., 2011; Bell et al., 2012; Miranda et al., 2011).

Por último, es necesario destacar la complejidad de la relación entre los grupos de población desfavorecidos y su exposición a altos niveles de contaminación atmosférica, que plantea interrogantes sobre si son causa o consecuencia del problema. No podemos conocer de manera perfecta si la calidad del aire empeora en las zonas donde residen estas poblaciones debido a factores externos, como la colocación de fuentes de contaminación en áreas más económicas, o si la presencia de estas personas en estas zonas es causa directa de la contaminación. Un estudio de Saha y Mohai (2005), pudo comprobar un patrón en la localización de vertederos en Michigan, que afectaba de manera desproporcional a barrios de clase trabajadora y de minorías étnicas. Este dilema, abordado por diversos autores en estudios anteriores, (Saha y Mohai, 2005; Mohai et al., 2009), aún carece de una respuesta definitiva, y necesita un mayor esfuerzo de investigación para poder obtener conclusiones y actuar sobre ellas.

5. Medidas actuales para promover la justicia ambiental

En las últimas décadas, se ha observado un esfuerzo creciente a nivel global para abordar el desafío del cambio climático, con la implementación de medidas y la adopción de planes dirigidos a mitigar sus efectos. En el caso específico de la Comunidad de Madrid, se han desarrollado diversos planes y estrategias destinados a combatir la contaminación atmosférica y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre estos planes destacan los siguientes:

Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid (2013-2020)

La Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid (2013-2020), conocida como Plan Azul+, surgió como una continuación de iniciativas anteriores, entre las que sobresalen el Plan de Saneamiento Atmosférico de la Comunidad de Madrid 1999-2002 y la Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid 2006-2012, Plan Azul. Este plan se enfocó en proporcionar un marco de referencia para acciones coordinadas entre las distintas administraciones públicas, mejorar el conocimiento sobre calidad del aire y adaptación al cambio climático, y reducir la contaminación por sectores clave como el transporte o la industria. Las principales medidas que se tomaron incluyeron incentivos para el cambio modal en el transporte, la modernización de la flota de vehículos, la promoción de tecnologías menos contaminantes, el fomento del transporte público y alternativas al tráfico privado, entre otras (Portal de Transparencia de la Comunidad de Madrid, s.f.). A pesar de su enfoque integral en la calidad del aire y el cambio climático, el Plan Azul+ no aborda directamente la justicia ambiental, centrándose en la reducción de la contaminación independientemente de variables socioeconómicas adicionales.

Plan de calidad del aire y cambio climático. Plan A

El Plan A, aprobado por el Ayuntamiento de Madrid en 2017 y vigente actualmente, se centra en abordar los desafíos de la contaminación y el cambio climático para garantizar una ciudad sostenible y saludable. Este plan se estructura en cuatro áreas principales de actuación que abarcan 30 medidas específicas. En primer lugar, se promueve una movilidad más sostenible mediante la reducción del tráfico privado motorizado y el

impulso a la movilidad eléctrica, junto con la gestión urbana baja en emisiones y una mayor eficiencia energética. Se enfatiza la adaptación al cambio climático a través de proyectos basados en la naturaleza y la sensibilización ciudadana. Los objetivos del plan incluyen el cumplimiento de la legislación en calidad del aire, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora de la resiliencia urbana frente a los impactos climáticos. (Ayuntamiento de Madrid, s.f.)

Madrid Zona de Bajas Emisiones

La implementación de la Zona de Bajas Emisiones (ZBE) en el Ayuntamiento de Madrid, como parte de la Ordenanza de Movilidad Sostenible, constituye un pilar fundamental para garantizar la protección del medio ambiente y la salud pública. Esta medida tiene como objetivo principal cumplir con los valores límites de dióxido de nitrógeno establecidos por la normativa comunitaria y estatal en materia de calidad del aire. La ZBE implica la prohibición del acceso y la circulación de vehículos con clasificación ambiental A en todas las vías públicas del municipio de Madrid. (Ayuntamiento de Madrid, s.f.)

Esta medida, al igual que las anteriores, no va orientada a zonas desfavorecidas en cuanto a niveles socioeconómicos, sino a zonas de mayor contaminación.

Estos son algunos de los planes más importantes que se han llevado a cabo recientemente tanto en la Comunidad como en el Ayuntamiento de Madrid, y es importante señalar que ninguno de estos ha sido orientado específicamente a combatir la justicia ambiental en la Comunidad de Madrid. Ni siquiera en los portales de ambos órganos incluyen información o estudios sobre el fenómeno de la equidad ambiental. Ante ello, surge la duda de si esta falta de información tiene su origen en una pasividad ante la justicia ambiental o si realmente han tratado este tema y han llegado a la conclusión de que no existe una injusticia ambiental en el territorio o no es lo suficientemente significativa como para tratarlo.

6. Estrategias potenciales para asegurar la justicia ambiental

Para abordar la problemática de la justicia ambiental, es fundamental llevar a cabo una serie de medidas integrales, que involucren tanto al gobierno del territorio como a la propia población. En primer lugar, es necesario realizar estudios sobre la justicia ambiental para comprender la magnitud y las posibles causas de este fenómeno. Además, es crucial educar a la población sobre la importancia de la equidad ambiental y sus implicaciones para la salud y el bienestar de todos los ciudadanos.

De manera paralela, se deben impulsar planes específicos orientados a prevenir la injusticia ambiental, priorizando la inclusión de medidas que aborden las necesidades de las comunidades desfavorecidas. La participación ciudadana debe ser promovida activamente en la toma de decisiones ambientales, garantizando una representación equitativa de todos los grupos en los procesos de planificación y desarrollo urbano. Asimismo, se deben implementar políticas de transporte público accesible y asequible para todos los ciudadanos, especialmente en áreas con mayor vulnerabilidad socioeconómica, con el fin de reducir la exposición a contaminantes y mejorar la movilidad urbana. La promoción de la creación de zonas verdes y espacios naturales en barrios desfavorecidos no solo contribuirá a mejorar la calidad del aire, sino que también proporcionará áreas de recreación y esparcimiento para los residentes. Establecer incentivos fiscales para la adopción de tecnologías limpias y energías renovables en hogares de bajos ingresos puede ayudar a asegurar la equidad ambiental al tiempo que se fomenta la transición hacia un modelo energético más sostenible. Finalmente, la implementación de políticas de vivienda sostenible que promuevan la construcción de edificios energéticamente eficientes y accesibles para todos los grupos socioeconómicos contribuirá a mejorar la calidad de vida y prevenir las disparidades ambientales en las áreas urbanas.

Estas son sólo algunas de las medidas que se pueden implementar con el fin de asegurar la justicia ambiental. Incluso en el caso en el que este fenómeno no sea significativo en la Comunidad de Madrid, tomar estas medidas asegurará que se mantenga la equidad.

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

Por la presente, yo, Jorge Jiménez de Andrade Castañón, estudiante de Doble Grado en Administración y Dirección de Empresas y Business Analytics de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado “ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA JUSTICIA AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD DE MADRID”, declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
2. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
3. **Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
4. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 23/04/2024

Firma: Jorge Jiménez de Andrade Castañón

7. Referencias bibliográficas

Agyeman, J., Schlosberg, D., Craven, L., Matthews, C. (2016): “Trends and Directions in Environmental Justice: From Inequity to Everyday Life, Community, and Just Sustainabilities” *Annual Review of Environment and Resources* 2016 41:1, 321-340. Recuperado de: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-environ-110615-090052>

Aithal, S., Sachdeva, I., Kurmi, O. (2023): “Air quality and respiratory health in children” *Breathe*. Recuperado de: <https://breathe.ersjournals.com/content/breathe/19/2/230040.full.pdf>

Altuğ, H., Fuks, K., Hüls, A., Mayer, A., Tham, R., Krutmann, J., Schikowski, T. (2020): “Air pollution is associated with depressive symptoms in elderly women with cognitive impairment.” *Environment International*, vol. 136. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105448>.

American Lung Association. (s.f.): “Who is at risk?” Recuperado de: <https://www.lung.org/clean-air/outdoors/who-is-at-risk>

Andrade, A., D'Oliveira, A., De Souza, LC., Bastos, ACRF., Dominski, FH., Stabile, L., Buonanno, G. (2023): “Effects of Air Pollution on the Health of Older Adults during Physical Activities: Mapping Review.” *Int J Environ Res Public Health*. Feb 16;20(4):3506. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9960154/#:~:text=Global%20assessments%20suggest%20that%20air,and%20heart%20disease%20%5B3%5D>

Ayuntamiento de Madrid. (s.f.): “Madrid Zona de Bajas Emisiones (ZBE)” Recuperado de: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Zonas-de-Bajas-Emisiones/Madrid-Zona-de-Bajas-Emisiones/Madrid->

[Zona-de-Bajas-Emisiones-ZBE-](#)

[/?vgnextfmt=default&vgnextoid=93e63877029eb710VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnextchannel=d2d2edf0f70ab710VgnVCM2000001f4a900aRCRD](#)

Ayuntamiento de Madrid, (2024): “Calidad del aire: Inversión térmica”. Recuperado de:

<https://airedemadrid.madrid.es/portales/calidadaire/es/Contaminacion-atmosferica/Inversion-termica/?vgnextfmt=default&vgnextchannel=a26e471c5c503710VgnVCM1000008a4a900aRCRD>

Ayuntamiento de Madrid, (s.f.): “Plan de calidad del aire y cambio climático. Plan A.”

Recuperado de:

<https://transparencia.madrid.es/portales/transparencia/es/Transparencia-por-sectores/Medio-ambiente/Aire/Plan-de-calidad-del-aire-y-cambio-climatico-Plan-A-2017-2020/?vgnextoid=fab664457127f510VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnextchannel=33d9508929a56510VgnVCM1000008a4a900aRCRD>

Bachoual, R., Boczkowski, J., Goven, D., Amara, N., Tabet, L., On, D., Leçon-Malas, V., Aubier, M., Lanone, S., (2007): “Biological Effects of Particles from the Paris Subway System”, Chemical Research in Toxicology 2007 20 (10), 1426-1433.

Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/tx700093j#>

Barrutiabengoa, J., Buda, G., Carvalho, V., Cubero, J., Hansen, S., Ortiz, A., Rodrigo, T., Rodriguez, S. (2023): “The Spanish Households’ Carbon Footprint Inequality in High Definition & Real Time.” Economics of Climate Change and Big Data, BBVA Research. Recuperado de: https://www.bbva.com/wp-content/uploads/2023/05/EW_050323_The-Spanish-Households-Carbon-Footprint-Inequality-in-High-Definition-and-Real-Time.pdf

Bell, M. L., & Ebisu, K. (2012). “Environmental inequality in exposures to airborne particulate matter components in the United States”. *Environmental health perspectives*, 120(12), 1699–1704. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1289/ehp.1205201>

Bocquier, A., Cortaredona, S., Boutin, C., et al. (2013). “Small-area analysis of social inequalities in residential exposure to road traffic noise in Marseilles, France.” *European Journal of Public Health*, vol. 23, Issue 4. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1093/eurpub/cks059>

Borck, R., Schrauth, P. (2021): “Population density and urban air quality” *Regional Science and Urban Economics*, vol. 86. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2020.103596>.

Cañada Torrecilla, R., Vidal Domínguez, M. J. y Moreno Jiménez, A. (2011):

“Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 118-154. ISSN: 1578-5157. Recuperado de:

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/665542/interpolacion_ca%C3%Blada_geofocus_2011.pdf

Cañada Torrecilla, R., Gómez-Barroso, D., Martínez Suárez, P., Moreno Jiménez, A., Prieto-Flores, M., (2017): “Contaminación del aire, mortalidad cardiovascular y grupos vulnerables en Madrid: un estudio exploratorio desde la perspectiva de la justicia ambiental.” *GeoCrítica*, Vol. XXI Núm. 559, ISSN: 1138-97. Recuperado de:

https://www.academia.edu/79873262/Contaminaci%C3%B3n_del_aire_mortalidad_cardiovascular_y_grupos_vulnerables_en_Madrid_un_estudio_exploratorio_desde_la_perspectiva_de_la_justicia_ambiental

Cañada Torrecilla, R., Moreno Jiménez, A., González Lorenzo, H., (2014): “Modelado de la calidad del aire urbano. Un experimento metodológico con técnicas de interpolación espacial”. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, Núm 65, págs. 317-342. Recuperado de: <https://bage.ageoografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1755/1671>

Comunidad de Madrid. (2018): “Estrategia para la revitalización de los municipios rurales.” Dirección general de reequilibrio territorial. Recuperado de: https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/estrategia_para_la_revitalizacion_de_los_municipios_rurales_v9_0.pdf

Echagüe, J. (2023): “M-30: la vía más transitada de España «pierde» diez millones de coches.” La Razón. Recuperado de: https://www.larazon.es/madrid/m30-via-mas-transitada-espana-pierde-diez-millones-coches_202310136528e469b2ab57000177640f.html

Egerstrom, N., Rojas-Rueda, D., Martuzzi, M., Jalaludin, B., Nieuwenhuijsen, M., So, R., Lim, YH., Loft, S., Andersen, ZJ., Cole-Hunter, T. (2023) “Health and economic benefits of meeting WHO air quality guidelines, Western Pacific Region. Bull World Health Organ.” Feb 1;101(2):130-139. doi: 10.2471/BLT.22.288938. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9874370/>

Ehler, I., Bader, F., Rüttenauer, T., Best, H. (2023): “The air pollution disadvantage of immigrants in Germany: partly a matter of urbanity.” European Sociological Review. Recuperado de: <https://doi.org/10.1093/esr/jcad046>

EPA, (1998): “Final Guidance For Incorporating Environmental Justice Concerns in EPA's NEPA Compliance Analyses”. Recuperado de: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-02/documents/ej_guidance_nepa_epa0498.pdf

- Feng, S., Gao, D., Liao, F., Zhou, F., Wang, X. (2016): “The health effects of ambient PM_{2.5} and potential mechanisms.” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 128, páginas 67-74. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.01.030>.
- Fiordelisi, A., Piscitelli, P., Trimarco, B. et al. (2017): “The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases.” *Heart Fail Rev* 22, 337–347. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s10741-017-9606-7>
- Fong, K., Bell, M. (2021): “Do fine particulate air pollution (PM_{2.5}) exposure and its attributable premature mortality differ for immigrants compared to those born in the United States?”, *Environmental Research*, vol. 196. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110387>.
- Giannadaki, D., Lelieveld, J. & Pozzer, A. (2016): “Implementing the US air quality standard for PM_{2.5} worldwide can prevent millions of premature deaths per year.” *Environ Health* 15, 88. Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0170-8>
- Griffith, D.A. (2009): “Spatially Autoregressive Model” *International Encyclopedia of Human Geography*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/spatial-autoregressive-model>
- Han, L., Zhou, W., Li, W., Qian, Y. (2018): “Urbanization strategy and environmental changes: An insight with relationship between population change and fine particulate pollution.” *Science of The Total Environment*, vol. 642, páginas 789-799. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.094>.

Jarvis, DJ., Adamkiewicz, G., Heroux, ME., et al. (2010): “Nitrogen dioxide. In: WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants.” Geneva: World Health Organization; 2010. 5. Recuperado de:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138707/>

Ji, H., Chen, S., Zhang, Y., Chen, H., Guo, P., Zhao, P., (2018): “Comparison of air quality at different altitudes from multi-platform measurements in Beijing”. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 10645–10653. Recuperado de:

<https://acp.copernicus.org/articles/18/10645/2018/acp-18-10645-2018.html>

Khalaf, E. M., Mohammadi, M. J., Sulistiyani, S., Ramírez-Coronel, A. A., Kiani, F., Jalil, A. T., Almulla, A. F., Asban, P., Farhadi, M., & Derikondi, M. (2022). “Effects of sulfur dioxide inhalation on human health: a review. *Reviews on environmental health*”. Advance online publication. Recuperado de: <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0237>

Kioumourtzoglou, M., Power, M., Hart, J., Okereke, O., Coull, B., Laden, F., Weiskopf, M., (2017): “The Association Between Air Pollution and Onset of Depression Among Middle-Aged and Older Women.” *American Journal of Epidemiology*, vol. 185, Issue 9, páginas 801–809. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1093/aje/kww163>

Kowalska, M., Skrzypek, M., Kowalski, M., Cyrus, J. (2020): “Effect of NO_x and NO₂ Concentration Increase in Ambient Air to Daily Bronchitis and Asthma Exacerbation, Silesian Voivodeship in Poland.” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 754. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/ijerph17030754>

Levy, J.I., Chemerynski, S.M. & Tuchmann, J.L. (2006). “Incorporating concepts of inequality and inequity into health benefits analysis.” *Int J Equity Health* 5, vol. 2. Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/1475-9276-5-2>

Liao, H., Chen, S., Xu S., Ye, LV., Liu, W., Xu, H. (2022): “Acute effects of ambient air pollution exposure on lung function in the elderly in Hangzhou, China.”

International Journal of Environmental Health Research, vol. 33, issue 10.

Recuperado de:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09603123.2022.2067523>

Mathworks, (s.f.). “What Is a Linear Regression Model?” Mathworks.com. Recuperado de: <https://es.mathworks.com/help/stats/what-is-linear-regression.html>

McGurty, E. , (2009): “Transforming Environmentalism: Warren County, PCBs, and the Origins of Environmental Justice”. Rutgers University Press. Recuperado de:

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=18291yyuaBgC&oi=fnd&pg=PR7&dq=environmental+justice+origin&ots=4GwSgPgWRj&sig=1pJwONd5Rfy14wlGb2WerY-eK6Q#v=onepage&q=bullard&f=false>

Meixler, M., Piana, M., Henry, A. (2023). “Modeling present and future ecosystem services and environmental justice within an urban-coastal watershed.” Landscape and Urban Planning, vol. 232. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204622003085>

Mikati, I., Benson, A. F., Luben, T. J., Sacks, J. D., & Richmond-Bryant, J. (2018).

“Disparities in Distribution of Particulate Matter Emission Sources by Race and Poverty Status.” American journal of public health, 108(4), 480–485. Recuperado de:

<https://doi.org/10.2105/AJPH.2017.304297>

Miranda, M. L., Edwards, S. E., Keating, M. H., & Paul, C. J. (2011). “Making the environmental justice grade: the relative burden of air pollution exposure in the

United States.” *International journal of environmental research and public health*, 8(6), 1755–1771. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/ijerph8061755>

Mitchell, G., Norman, P. (2012). “Longitudinal environmental justice analysis: Co-evolution of environmental quality and deprivation in England, 1960–2007” *Geoforum*, vol. 43, issue 1, 44-57. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718511001485>

Mohai, P., Pellow, D., Roberts, T. (2009): “Environmental Justice.” *Annual Review of Environment and Resources* 34:1, 405-430. Recuperado de: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-environ-082508-094348>

Moreno-Jiménez, A., Cañada-Torrecilla, R., Vidal-Domínguez, M., Palacios-García, A., Martínez-Suárez, P. (2016): “Assessing environmental justice through potential exposure to air pollution: A socio-spatial analysis in Madrid and Barcelona, Spain”, *Geoforum*, Volume 69, Pages 117-131, ISSN 0016-7185. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718515003255>

Nunez, Y., Benavides, J., Shearston, J.A. et al. (2024). “An environmental justice analysis of air pollution emissions in the United States from 1970 to 2010.” *Nat Commun* 15, vol. 268 Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43492-9>

Orellano, P., Reynoso, J., & Quaranta, N. (2021). “Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis.” *Environment international*, 150, 106434. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434>

Portal de Transparencia de la Comunidad de Madrid. (s.f.): “Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid (2013-2020). Plan Azul+”

Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior. Comunidad de Madrid.
Recuperado de: <https://www.comunidad.madrid/transparencia/informacion-institucional/planes-programas/estrategia-calidad-del-aire-y-cambio-climatico-comunidad>

Rashidi, R., Khaniabadi, Y.O., Sicard, P. (2023): “Ambient PM2.5 and O3 pollution and health impacts in Iranian megacity.” *Stoch Environ Res Risk Assess* 37, 175–184.
Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02286-z>

Rosofsky, A., Levy, J. I., Zanobetti, A., Janulewicz, P., & Fabian, M. P. (2018).
“Temporal trends in air pollution exposure inequality in Massachusetts. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.028>

Rosser F, Balmes J. (2023): “Ozone and childhood respiratory health: a primer for US pediatric providers and a call for a more protective standard.” *Pediatric Pulmonology*; 58: 1355-1366. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/action/showCitFormats?doi=10.1002%2Fppul.26368>

Salma, I., Pósfai, M., Kovács, K., Kuzmann, E., Homonnay, Z., Posta, J., (2009):
“Properties and sources of individual particles and some chemical species in the aerosol of a metropolitan underground railway station”, *Atmospheric Environment*, Volume 43, Issues 22–23, 2009, Pages 3460-3466, ISSN 1352-2310, Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.042>

Selvaraj, S., Padma K., Boaz, M. (2013): “Seasonal variation of surface ozone and its association with meteorological parameters, UV-radiation, rainfall and cloud cover over Chennai, India.” *Current Science*, vol. 105, No. 5. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/24097939>

- Sobotta, R., Campbell, H., Owens, B. (2007). “Aviation noise and environmental justice: The Barrio Barrier.” *Journal of Regional Science*, vol. 47, issue 1.
Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9787.2007.00503.x>
- Stata (2023): “Stata spatial autoregressive models reference manual” Stata.com.
Recuperado de: <https://www.stata.com/manuals/sp.pdf>
- Stata. (s.f.): “Multivariate regression”. Stata.com. Recuperado de:
<https://www.stata.com/manuals/mvrmvreg.pdf>
- Tran VV, Park D, Lee Y-C., (2020): “Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality.”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(8):2927.
Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/ijerph17082927>
- U.S. EPA (1978): “Altitude as a factor in Air pollution” Recuperado de:
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000TAGZ.PDF?Dockey=2000TAGZ.PDF>
- Valls Hernández, E. (2018): “Estudio de datos atmosféricos de contaminación mediante técnicas de procesado y análisis Estadístico Clásico y Espacial. Aplicado a la comunidad de Madrid.”, UPM. Recuperado de:
https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/665542/interpolacion_ca%C3%Blada_geofa_2011.pdf
- Wang, Y., Wild, O., Chen, X., Wu, Q., Gao, M., Chen, H., Qi, Y., Wang, Z. (2020): “Health impacts of long-term ozone exposure in China over 2013–2017.” *Environment International*, vol. 144. Recuperado de:
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106030>.

Weber H, Sciubba JD. (2018): “The Effect of Population Growth on the Environment: Evidence from European Regions.” *Eur J Popul*, 35(2):379-402. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6497702/>

WHO. (2021): “What are the WHO Air quality guidelines?” World Health Organization. Recuperado de: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>

WHO Regional Office for Europe. (2013): “Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: Technical Report [Internet].” Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK361807/>

Xing, YF., Xu, YH., Shi, MH., Lian, YX. (2016): “The impact of PM2.5 on the human respiratory system.” *J Thorac Dis*; 8(1):E69-E74. Recuperado de: <https://jtd.amegroups.org/article/view/6353/6196>

Young, S., Smith, R., Lopiano, K. (2017): “Air quality and acute deaths in California, 2000-2012.” *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 88. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.06.003>.

8. Anexos

Anexo I: Resultados de regresión lineal

PM25	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
altitud	-.0016466	.0003616	-4.55	0.000	-.0023554	-.0009378
defunciones	-.0002312	.0035954	-0.06	0.949	-.0072795	.0068171
Densidad	-.0000751	.0002009	-0.37	0.708	-.0004689	.0003186
edad_media	.0113877	.0283297	0.40	0.688	-.0441481	.0669235
extranjeros	-.4867701	.2139511	-2.28	0.023	-.9061872	-.0673531
M30	.4009027	.2396455	1.67	0.094	-.0688842	.8706896
mayores65	-.3340759	.9234763	-0.36	0.718	-2.144405	1.476253
mujeres	-.2834651	.2660716	-1.07	0.287	-.8050562	.238126
vehiculos	-2.66e-06	2.06e-06	-1.29	0.196	-6.69e-06	1.37e-06
paro	-.0000264	.0000279	-0.95	0.344	-.0000811	.0000283
poblacion	2.63e-06	2.99e-06	0.88	0.380	-3.24e-06	8.50e-06
renta_media	-.000061	.0000166	-3.67	0.000	-.0000935	-.0000284
rural	-1.678456	.1496583	-11.22	0.000	-1.971837	-1.385074
superficie	3.09e-06	.0000131	0.24	0.814	-.0000226	.0000288
tamano_hogar	.4948937	.3085389	1.60	0.109	-.1099478	1.099735
zbe	-.0819967	.3520069	-0.23	0.816	-.7720505	.608057
_cons	11.08295	1.700695	6.52	0.000	7.749005	14.41689

PM10	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
altitud	-.0087914	.0006251	-14.06	0.000	-.0100168	-.007566
defunciones	.0134496	.0062156	2.16	0.031	.0012648	.0256344
Densidad	-.000306	.0003472	-0.88	0.378	-.0009867	.0003747
edad_media	-.2669479	.0489752	-5.45	0.000	-.3629561	-.1709398
extranjeros	.6360688	.3698705	1.72	0.086	-.0890037	1.361141
M30	.2715822	.4142901	0.66	0.512	-.5405677	1.083732
mayores65	-1.36616	1.596471	-0.86	0.392	-4.495788	1.763469
mujeres	-.2612452	.4599745	-0.57	0.570	-1.162952	.6404619
vehiculos	5.09e-06	3.55e-06	1.43	0.152	-1.88e-06	.0000121
paro	.0002006	.0000482	4.16	0.000	.0001061	.0002952
poblacion	-.0000112	5.18e-06	-2.17	0.030	-.0000214	-1.10e-06
renta_media	-.0000865	.0000287	-3.02	0.003	-.0001427	-.0000303
rural	-2.014992	.2587237	-7.79	0.000	-2.522178	-1.507805
superficie	-.0000833	.0000227	-3.68	0.000	-.0001278	-.0000389
tamano_hogar	-1.431059	.5333904	-2.68	0.007	-2.476686	-.385432
zbe	-.0481184	.6085364	-0.08	0.937	-1.241057	1.144821
_cons	40.8708	2.940098	13.90	0.000	35.1072	46.63439

S02	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
altitud	-.0035432	.00023	-15.40	0.000	-.0039941	-.0030923
defunciones	-.0035138	.0028256	-1.24	0.214	-.0090528	.0020252
Densidad	.0000891	.0001619	0.55	0.582	-.0002282	.0004065
edad_media	-.0024302	.0003453	-7.04	0.000	-.0031071	-.0017533
extranjeros	-1.030536	.1724184	-5.98	0.000	-1.36853	-.6925417
M30	.015762	.1917771	0.08	0.934	-.3601813	.3917053
mayores65	-.0017749	.0006772	-2.62	0.009	-.0031024	-.0004474
mujeres	.5924569	.2074618	2.86	0.004	.1857667	.9991471
vehiculos	-6.08e-06	1.60e-06	-3.79	0.000	-9.22e-06	-2.93e-06
paro	-.0000655	.0000226	-2.89	0.004	-.0001099	-.0000211
poblacion	.0000258	2.40e-06	10.74	0.000	.0000211	.0000305
renta_media	.0001599	.0000129	12.37	0.000	.0001346	.0001852
rural	-.8489739	.1119511	-7.58	0.000	-1.068433	-.6295147
superficie	-.0000634	.0000104	-6.09	0.000	-.0000838	-.000043
tamano_hogar	.0378338	.2004635	0.19	0.850	-.3551377	.4308052
zbe	1.641267	.278316	5.90	0.000	1.09568	2.186853
_cons	5.243476	.6729904	7.79	0.000	3.924204	6.562749

3

N02	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
altitud	-.0024423	.001377	-1.77	0.076	-.0051416	.0002571
defunciones	.0894875	.0136925	6.54	0.000	.0626455	.1163295
Densidad	-.002319	.0007649	-3.03	0.002	-.0038186	-.0008195
edad_media	-1.532441	.107888	-14.20	0.000	-1.743939	-1.320944
extranjeros	-.5169334	.8147912	-0.63	0.526	-2.114202	1.080335
M30	6.053169	.9126434	6.63	0.000	4.264077	7.842262
mayores65	5.913139	3.516881	1.68	0.093	-.981148	12.80743
mujeres	.1270468	1.013282	0.13	0.900	-1.859332	2.113425
vehiculos	2.67e-06	7.83e-06	0.34	0.733	-.0000127	.000018
paro	-.000169	.0001062	-1.59	0.112	-.0003772	.0000393
poblacion	.0000467	.0000114	4.09	0.000	.0000243	.000069
renta_media	.000313	.0000632	4.95	0.000	.0001891	.0004368
rural	-5.865515	.5699447	-10.29	0.000	-6.982801	-4.748229
superficie	-.0004111	.0000499	-8.23	0.000	-.000509	-.0003133
tamano_hogar	-4.182038	1.175011	-3.56	0.000	-6.48546	-1.878616
zbe	-3.28484	1.34055	-2.45	0.014	-5.912777	-.6569041
_cons	95.62558	6.476769	14.76	0.000	82.92891	108.3223

03	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
altitud	.0032292	.0022968	1.41	0.160	-.0012733	.0077317
defunciones	-.0875446	.0228391	-3.83	0.000	-.132317	-.0427723
Densidad	-.0002271	.0012759	-0.18	0.859	-.0027283	.0022742
edad_media	1.269898	.1799568	7.06	0.000	.9171212	1.622675
extranjeros	.0940973	1.359069	0.07	0.945	-2.570142	2.758337
M30	-3.539323	1.522286	-2.33	0.020	-6.523524	-.5551225
mayores65	-5.722945	5.866146	-0.98	0.329	-17.22259	5.776704
mujeres	.1926267	1.690151	0.11	0.909	-3.120647	3.5059
vehiculos	-8.77e-06	.0000131	-0.67	0.502	-.0000344	.0000168
paro	.0000877	.0001772	0.50	0.621	-.0002596	.0004351
poblacion	-.0000156	.000019	-0.82	0.412	-.0000529	.0000217
renta_media	-7.40e-06	.0001054	-0.07	0.944	-.000214	.0001992
rural	4.898044	.950666	5.15	0.000	3.034414	6.761674
superficie	.0003031	.0000833	3.64	0.000	.0001398	.0004664
tamano_hogar	4.261114	1.959914	2.17	0.030	.4190136	8.103215
zbe	-1.417646	2.236034	-0.63	0.526	-5.801036	2.965743
_cons	-4.532713	10.80323	-0.42	0.675	-25.71073	16.6453

Anexo II: Resultados de regresión multivariada

	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
PM25						
altitud	-.0016466	.0003616	-4.55	0.000	-.0023554	-.0009378
defunciones	-.0002312	.0035954	-0.06	0.949	-.0072795	.0068171
Densidad	-.0000751	.0002009	-0.37	0.708	-.0004689	.0003186
edad_media	.0113877	.0283297	0.40	0.688	-.0441481	.0669235
M30	.4009027	.2396455	1.67	0.094	-.0688842	.8706896
extranjeros	-.4867701	.2139511	-2.28	0.023	-.9061872	-.0673531
mayores65	-.3340759	.9234763	-0.36	0.718	-2.144405	1.476253
mujeres	-.2834651	.2660716	-1.07	0.287	-.8050562	.238126
paro	-.0000264	.0000279	-0.95	0.344	-.0000811	.0000283
vehiculos	-2.66e-06	2.06e-06	-1.29	0.196	-6.69e-06	1.37e-06
poblacion	2.63e-06	2.99e-06	0.88	0.380	-3.24e-06	8.50e-06
renta_media	-.000061	.0000166	-3.67	0.000	-.0000935	-.0000284
rural	-1.678456	.1496583	-11.22	0.000	-1.971837	-1.385074
superficie	3.09e-06	.0000131	0.24	0.814	-.0000226	.0000288
tamano_hogar	.4948937	.3085389	1.60	0.109	-.1099478	1.099735
zbe	-.0819967	.3520069	-0.23	0.816	-.7720505	.608057
_cons	11.08295	1.700695	6.52	0.000	7.749005	14.41689
PM10						
altitud	-.0087914	.0006251	-14.06	0.000	-.0100168	-.007566
defunciones	.0134496	.0062156	2.16	0.031	.0012648	.0256344
Densidad	-.000306	.0003472	-0.88	0.378	-.0009867	.0003747
edad_media	-.2669479	.0489752	-5.45	0.000	-.3629561	-.1709398
M30	.2715822	.4142901	0.66	0.512	-.5405677	1.083732
extranjeros	.6360688	.3698705	1.72	0.086	-.0890037	1.361141
mayores65	-1.36616	1.596471	-0.86	0.392	-4.495788	1.763469
mujeres	-.2612452	.4599745	-0.57	0.570	-1.162952	.6404619
paro	.0002006	.0000482	4.16	0.000	.0001061	.0002952
vehiculos	5.09e-06	3.55e-06	1.43	0.152	-1.88e-06	.0000121
poblacion	-.0000112	5.18e-06	-2.17	0.030	-.0000214	-1.10e-06
renta_media	-.0000865	.0000287	-3.02	0.003	-.0001427	-.0000303
rural	-2.014992	.2587237	-7.79	0.000	-2.522178	-1.507805
superficie	-.0000833	.0000227	-3.68	0.000	-.0001278	-.0000389
tamano_hogar	-1.431059	.5333904	-2.68	0.007	-2.476686	-.385432
zbe	-.0481184	.6085364	-0.08	0.937	-1.241057	1.144821
_cons	40.8708	2.940098	13.90	0.000	35.1072	46.63439

S02							
altitud	-.0046387	.0003004	-15.44	0.000	-.0052275	-.0040499	
defunciones	-.0026059	.0029867	-0.87	0.383	-.0084608	.0032491	
Densidad	.000195	.0001669	1.17	0.243	-.0001321	.000522	
edad_media	-.1768321	.0235333	-7.51	0.000	-.2229655	-.1306987	
M30	-.3887706	.1990727	-1.95	0.051	-.779021	.0014798	
extranjeros	-1.108607	.1777284	-6.24	0.000	-1.457015	-.7601984	
mayores65	.7824007	.7671286	1.02	0.308	-.7214332	2.286235	
mujeres	.6026621	.2210247	2.73	0.006	.1693782	1.035946	
paro	-.000065	.0000232	-2.81	0.005	-.0001105	-.0000196	
vehiculos	-6.36e-06	1.71e-06	-3.73	0.000	-9.71e-06	-3.02e-06	
poblacion	.0000248	2.49e-06	9.97	0.000	.0000199	.0000297	
renta_media	.0001907	.0000138	13.84	0.000	.0001637	.0002177	
rural	-.9567262	.1243207	-7.70	0.000	-1.200437	-.7130153	
superficie	-.0000584	.0000109	-5.36	0.000	-.0000797	-.000037	
tamano_hogar	-1.531707	.2563022	-5.98	0.000	-2.034147	-1.029268	
zbe	1.360177	.292411	4.65	0.000	.7869517	1.933402	
_cons	15.91111	1.412762	11.26	0.000	13.14162	18.68061	
03							
altitud	.0032292	.0022968	1.41	0.160	-.0012733	.0077317	
defunciones	-.0875446	.0228391	-3.83	0.000	-.132317	-.0427723	
Densidad	-.0002271	.0012759	-0.18	0.859	-.0027283	.0022742	
edad_media	1.269898	.1799568	7.06	0.000	.9171212	1.622675	
M30	-3.539323	1.522286	-2.33	0.020	-6.523524	-.5551225	
extranjeros	.0940973	1.359069	0.07	0.945	-2.570142	2.758337	
mayores65	-5.722945	5.866146	-0.98	0.329	-17.22259	5.776704	
mujeres	.1926267	1.690151	0.11	0.909	-3.120647	3.5059	
paro	.0000877	.0001772	0.50	0.621	-.0002596	.0004351	
vehiculos	-8.77e-06	.0000131	-0.67	0.502	-.0000344	.0000168	
poblacion	-.0000156	.000019	-0.82	0.412	-.0000529	.0000217	
renta_media	-7.40e-06	.0001054	-0.07	0.944	-.000214	.0001992	
rural	4.898044	.950666	5.15	0.000	3.034414	6.761674	
superficie	.0003031	.0000833	3.64	0.000	.0001398	.0004664	
tamano_hogar	4.261114	1.959914	2.17	0.030	.4190136	8.103215	
zbe	-1.417646	2.236034	-0.63	0.526	-5.801036	2.965743	
_cons	-4.532713	10.80323	-0.42	0.675	-25.71073	16.6453	

N02						
altitud	-.0024423	.001377	-1.77	0.076	-.0051416	.0002571
defunciones	.0894875	.0136925	6.54	0.000	.0626455	.1163295
Densidad	-.002319	.0007649	-3.03	0.002	-.0038186	-.0008195
edad_media	-1.532441	.107888	-14.20	0.000	-1.743939	-1.320944
M30	6.053169	.9126434	6.63	0.000	4.264077	7.842262
extranjeros	-.5169334	.8147912	-0.63	0.526	-2.114202	1.080335
mayores65	5.913139	3.516881	1.68	0.093	-.981148	12.80743
mujeres	.1270468	1.013282	0.13	0.900	-1.859332	2.113425
paro	-.000169	.0001062	-1.59	0.112	-.0003772	.0000393
vehiculos	2.67e-06	7.83e-06	0.34	0.733	-.0000127	.000018
poblacion	.0000467	.0000114	4.09	0.000	.0000243	.000069
renta_media	.000313	.0000632	4.95	0.000	.0001891	.0004368
rural	-5.865515	.5699447	-10.29	0.000	-6.982801	-4.748229
superficie	-.0004111	.0000499	-8.23	0.000	-.000509	-.0003133
tamano_hogar	-4.182038	1.175011	-3.56	0.000	-6.48546	-1.878616
zbe	-3.28484	1.34055	-2.45	0.014	-5.912777	-.6569041
_cons	95.62558	6.476769	14.76	0.000	82.92891	108.3223

Anexo III: Resultados de auterregresión espacial

PM_{2.5}

PM25	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
altitud	-.0123279	.0019647	-6.27	0.000	-.0161787	-.0084771
defunciones	-.0661595	.0031921	-20.73	0.000	-.0724158	-.0599031
Densidad	.0021501	.0000735	29.26	0.000	.0020061	.0022941
edad_media	-.0062197	.0274131	-0.23	0.821	-.0599483	.0475088
extranjeros	4.630684	.7989921	5.80	0.000	3.064688	6.196679
M30	-.9058533	.0865945	-10.46	0.000	-1.075575	-.7361312
mayores65	.3105502	.5735364	0.54	0.588	-.8135604	1.434661
mujeres	-2.018436	.2342895	-8.62	0.000	-2.477635	-1.559237
vehiculos	3.05e-06	1.03e-06	2.96	0.003	1.03e-06	5.06e-06
paro	-.0001523	.0000162	-9.42	0.000	-.0001839	-.0001206
poblacion	.0000545	2.29e-06	23.76	0.000	.00005	.000059
renta_media	.0000821	.0000147	5.60	0.000	.0000534	.0001109
rural	0	(omitted)				
superficie	-.0001321	.0000127	-10.39	0.000	-.000157	-.0001072
tamano_hogar	-.8049496	.2453681	-3.28	0.001	-1.285862	-.324037
zbe	-.8523188	.1718974	-4.96	0.000	-1.189231	-.5154062
_cons	20.44098	1.762573	11.60	0.000	16.9864	23.89556

PM₁₀

PM10	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
altitud	-.0813214	.0035366	-22.99	0.000	-.088253	-.0743899
defunciones	.0153187	.0057458	2.67	0.008	.0040572	.0265802
Densidad	-.0011855	.0001323	-8.96	0.000	-.0014448	-.0009263
edad_media	-.3033301	.0493437	-6.15	0.000	-.400042	-.2066182
extranjeros	-7.272035	1.438192	-5.06	0.000	-10.09084	-4.45323
M30	2.025886	.1558708	13.00	0.000	1.720384	2.331387
mayores65	-5.404337	1.03237	-5.23	0.000	-7.427746	-3.380929
mujeres	-1.561887	.421723	-3.70	0.000	-2.388449	-.7353255
vehiculos	3.20e-07	1.85e-06	0.17	0.863	-3.31e-06	3.95e-06
paro	-.0002817	.0000291	-9.68	0.000	-.0003387	-.0002247
poblacion	-.0000146	4.13e-06	-3.53	0.000	-.0000227	-6.50e-06
renta_media	-.0004382	.0000264	-16.59	0.000	-.00049	-.0003865
rural	0	(omitted)				
superficie	8.21e-06	.0000229	0.36	0.720	-.0000366	.000053
tamano_hogar	-6.080637	.4416646	-13.77	0.000	-6.946283	-5.21499
zbe	2.823262	.3094166	9.12	0.000	2.216816	3.429707
_cons	115.5921	3.172647	36.43	0.000	109.3738	121.8104

SO₂

SO2	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
altitud	.0059348	.0015401	3.85	0.000	.0029163	.0089534
defunciones	-.1008684	.0025022	-40.31	0.000	-.1057726	-.0959643
Densidad	-.0000138	.0000576	-0.24	0.811	-.0001267	.0000991
edad_media	.8558289	.0214882	39.83	0.000	.8137128	.8979449
extranjeros	-14.09615	.6263036	-22.51	0.000	-15.32368	-12.86861
M30	-1.586486	.0678786	-23.37	0.000	-1.719525	-1.453446
mayores65	-5.959495	.4495762	-13.26	0.000	-6.840649	-5.078342
mujeres	2.331207	.1836518	12.69	0.000	1.971256	2.691158
vehiculos	.0000118	8.06e-07	14.70	0.000	.0000103	.0000134
paro	-.0001247	.0000127	-9.84	0.000	-.0001495	-.0000999
poblacion	.0000845	1.80e-06	47.00	0.000	.0000809	.000088
renta_media	-.0000843	.0000115	-7.33	0.000	-.0001068	-.0000617
rural	0	(omitted)				
superficie	-.0002244	9.96e-06	-22.53	0.000	-.0002439	-.0002049
tamano_hogar	2.851699	.192336	14.83	0.000	2.474728	3.228671
zbe	-.0874212	.1347447	-0.65	0.516	-.3515159	.1766735
_cons	-37.04183	1.381623	-26.81	0.000	-39.74976	-34.3339

O₃

03	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
altitud	.120056	.0124567	9.64	0.000	.0956414	.1444706
defunciones	.4443435	.020238	21.96	0.000	.4046778	.4840093
Densidad	-.0178551	.000466	-38.32	0.000	-.0187684	-.0169418
edad_media	-3.006884	.173801	-17.30	0.000	-3.347528	-2.66624
extranjeros	-2.983013	5.065675	-0.59	0.556	-12.91155	6.945527
M30	27.32653	.5490161	49.77	0.000	26.25048	28.40258
mayores65	9.772201	3.636267	2.69	0.007	2.645248	16.89915
mujeres	-9.596562	1.485414	-6.46	0.000	-12.50792	-6.685203
vehiculos	-.0000347	6.52e-06	-5.33	0.000	-.0000475	-.0000219
paro	-.0008646	.0001025	-8.44	0.000	-.0010655	-.0006638
poblacion	-.0002842	.0000145	-19.55	0.000	-.0003126	-.0002557
renta_media	-.0020688	.000093	-22.23	0.000	-.0022511	-.0018864
rural	0	(omitted)				
superficie	.0003352	.0000806	4.16	0.000	.0001773	.0004932
tamano_hogar	11.08601	1.555654	7.13	0.000	8.036982	14.13503
zbe	24.4937	1.089843	22.47	0.000	22.35764	26.62975
_cons	106.3	11.17486	9.51	0.000	84.39765	128.2023

NO2

NO2	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
altitud	-.1147191	.0081394	-14.09	0.000	-.1306721	-.0987662
defunciones	-.4185487	.0132239	-31.65	0.000	-.444467	-.3926304
Densidad	.0124629	.0003045	40.93	0.000	.0118662	.0130597
edad_media	2.404426	.1135647	21.17	0.000	2.181843	2.627009
extranjeros	29.64535	3.310003	8.96	0.000	23.15786	36.13284
M30	-11.83203	.358737	-32.98	0.000	-12.53514	-11.12892
mayores65	-30.09464	2.376003	-12.67	0.000	-34.75152	-25.43776
mujeres	11.31697	.9705966	11.66	0.000	9.414631	13.2193
vehiculos	-7.27e-06	4.26e-06	-1.71	0.088	-.0000156	1.07e-06
paro	.0005243	.000067	7.83	0.000	.0003931	.0006555
poblacion	.0002653	9.50e-06	27.94	0.000	.0002467	.0002839
renta_media	.0012135	.0000608	19.96	0.000	.0010943	.0013327
rural	0	(omitted)				
superficie	-.0001133	.0000526	-2.15	0.031	-.0002165	-.0000102
tamano_hogar	-13.18648	1.016492	-12.97	0.000	-15.17877	-11.19419
zbe	-15.59956	.7121232	-21.91	0.000	-16.99529	-14.20382
_cons	22.43308	7.301854	3.07	0.002	8.121707	36.74445