



Facultad de Ciencias Empresariales

IMPACTO DE LOS EFECTOS DEL COVID-19 SOBRE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Autor: Cristina Manrique López-Rey

Director: Manuel Alejandro Betancourt Odio

RESUMEN

Cada año, en las localidades de la Comunidad Valenciana, desde el año 2001 se superan los umbrales de contaminación establecidos por la OMS, aunque de forma variable a lo largo del año. Este trabajo examina los efectos de las medidas aplicadas por el Gobierno de España ante los contagios por COVID-19 durante la pandemia en 2020 respecto a los niveles de concentración de diferentes contaminantes atmosféricos en la Comunidad Valenciana, haciendo especial incidencia en el O₃ y NO_x. En este contexto, comprueba si hay relación entre las restricciones legales desde el Estado de Alarma con efectos el 14 de marzo de 2020 y la mejora de la calidad del aire ante la consecuente reducción de la movilidad y actividades económicas. Con este fin, se construye un modelo de regresión lineal para analizar el impacto de una batería de variables independientes sobre los niveles de contaminación del objeto de estudio. Los resultados obtenidos muestran variaciones entre los diferentes municipios, registrando una disminución de hasta 98,59% y un aumento del 68,21% en las concentraciones de NO_x y O₃, respectivamente, así como una diferencia aproximada del 20% en su variación en el caso del O₃ entre los valores medidos en áreas urbanas y rurales.

Palabras clave: contaminación, calidad del aire, COVID-19, confinamiento, Estado de Alarma, movilidad, regresión.

ABSTRACT

Every year, since 2001, the air pollution thresholds established by the World Health Organization are exceeded in the municipalities of the Valencian Community, even though there is some variability over the year. This paper examines the effects of the measures applied by the Spanish Government in response to the COVID-19 outbreaks during the pandemic in 2020 related to the concentration levels of different atmospheric pollutants in the Valencian Community, with special emphasis on O₃ and NO_x. In this context, it is verified if there is a relationship between the legal restrictions of the State of Alarm in force from March 14, 2020, and the improvement of air quality in the case of the consequent reduction of mobility and economic activities. For this purpose, a linear regression model is constructed in order to analyse the impact of an ensemble of independent variables on the pollution levels of the object of the study. The results obtained show variations throughout the different municipalities, registering a decrease of up to 98.59% and an increase of 68.21% in NO_x and O₃ concentrations, respectively, as well as an approximate difference of the 20% in the percentual change between the values measured in urban and rural areas.

Keywords: pollution, air quality, COVID-19, lockdown, state of alarm, mobility, regression.

Impacto de los efectos del COVID-19 sobre los niveles de contaminación en la Comunidad Valenciana

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1. LA CALIDAD DEL AIRE. CAUSAS Y CONSECUENCIAS | 6 |
| 1.1. Contaminación atmosférica y medición | 6 |
| 1.2. Regulación de la calidad del aire | 10 |
| 1.3. El virus del COVID-19 y la calidad del aire..... | 12 |
| CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA COMUNIDAD VALENCIANA | 15 |
| 2.1. Datos de contaminación atmosférica | 15 |
| 2.2. Construcción de un modelo de regresión..... | 18 |
| 2.3. Análisis de los resultados..... | 21 |
| CAPITULO 3. RESULTADOS | 22 |
| 3.1. Selección y tratamiento de datos..... | 22 |
| 3.2. Análisis de los resultados de la regresión | 31 |
| 3.3. Interpretación y representación de resultados..... | 34 |
| 3.3.1. <i>Efecto en la concentración de contaminantes</i> | 35 |
| 3.3.2. <i>Tendencia temporal</i> | 47 |
| 3.3.3. <i>Influencia de otros fenómenos</i> | 48 |
| CONCLUSIONES | 53 |
| BIBLIOGRAFÍA | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Relación entre la exposición a largo plazo de PM _{2,5} (µg/m ³) y la mortalidad por enfermedades no transmisibles y respiratorias..... | 8 |
| Figura 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible 11, 13 y 15..... | 10 |
| Figura 3. Cronología del Estado de Alarma. | 13 |
| Figura 4. Reparto de estaciones según el tipo de área donde se encuentran. | 16 |
| Figura 5. Mapas de las estaciones de control de contaminación en la Comunidad Valenciana con la distinción de Valencia, Alicante y Castellón (derecha). | 17 |
| Figura 6. Muestra de datos obtenidos de diciembre de 2020. | 22 |
| Figura 7. Tabla obtenida al leer datos de estaciones de control de calidad del aire en la Comunidad Valenciana..... | 24 |
| Figura 8. Formato a usar como modelo de datos de las estaciones de control en Cataluña..... | 25 |
| Figura 9. Tabla obtenida al realizar los cambios pertinentes para adecuar los datos al modelo de la Figura 8. | 27 |
| Figura 10. Modelo de datos de Cataluña para modificar el conjunto de datos obtenido de la Comunidad Valenciana..... | 27 |
| Figura 11. Tabla obtenida al realizar cambios usando como objetivo la Figura 10..... | 29 |
| Figura 12. Comparación por fases del impacto de NO _x en % | 36 |
| Figura 13. Impacto de los fines de semana y festivos en NO _x (%). | 37 |
| Figura 14. Comparación por fases del impacto de NO ₂ en % | 39 |
| Figura 15. Comparación por fases del impacto de O ₃ en % | 42 |
| Figura 16. Comparación por fases y tipo de estación del impacto de O ₃ en %..... | 44 |
| Figura 17. Variación de SO ₂ en la fase cero..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 18. Media diaria de los niveles de NO _x desde el 1 de enero de 2017 hasta el 31 de diciembre de 2020 en las estaciones de El Pinos (izquierda) y Sagunt Port (derecha) | 47 |
| Figura 19. Histograma de las medias diarias de los niveles de NO _x entre 2017 y 2020 en las estaciones de El Pinos (izquierda) y Sagunt Port (derecha)..... | 48 |
| Figura 20. Distribución impacto temperatura media variación O ₃ (%)..... | 49 |
| Figura 21. Evolución de los niveles de O ₃ en la estación de Valencia-Avda. de Francia | 50 |
| Figura 22. Distribución impacto temperatura media variación NO ₂ (%)..... | 51 |
| Figura 23. Impacto promedio de la velocidad del viento en % por partículas. | 51 |
| Figura 24. Histograma la variación de PM _{2,5} causada por el polvo sahariano. | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Contaminantes seleccionados para aplicar el modelo. | 28 |
| Tabla 2. Fragmento de la tabla de relación de las estaciones de control de la contaminación y del clima. | 31 |
| Tabla 3. Resultado de modelo lineal de regresión en Alacant El Pla sobre O ₃ | 32 |
| Tabla 4. Resumen de resultados del modelo de regresión lineal..... | 34 |

LISTADO DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------------------|---|
| AEMet | Agencia Estatal de Meteorología |
| API | Interfaz de programación de aplicaciones |
| BC | Carbón negro |
| BOE | Boletín Oficial del Estado |
| C₆H₆ | Benceno |
| CE | Comisión Europea |
| CO | Monóxido de carbono |
| EPA | Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental) |
| ICA | Índice de Calidad del Aire |
| NH₃ | Amoniaco |
| NO | Óxido de nitrógeno |
| NO₂ | Dióxido de nitrógeno |
| NO_x | Óxido de nitrógeno total |
| O₃ | Ozono |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PM₁₀ | Partículas en suspensión con diámetro de 10 µm |
| PM_{2,5} | Partículas en suspensión con diámetro de 2,5 µm |
| SO₂ | Dióxido de azufre |
| UE | Unión Europea |
| WHO | World Health Organization |

INTRODUCCIÓN

Cada año mueren en el planeta cerca de 4 millones de personas como consecuencia de los efectos de enfermedades como la neumonía, las cardiopatías isquémicas o el cáncer de pulmón que pueden tener su desencadenante en la contaminación ambiental. Aproximadamente el 50% de las muertes de neumonía de los últimos 5 años son causadas por la inhalación de aire contaminado (OMS, 2021). En términos de ecosistemas, cada año desaparecen entre 18.000 y 55.000 especies de acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Naciones Unidas, 2007). Según los datos de febrero de 2022, existen en el planeta más de 7,7 millones de especies de animales, de los cuales más del 20% están en peligro de extinción (Rodríguez, 2022).

En España, alrededor de 45.000 personas mueren debido a la contaminación atmosférica (EFE, 2021). Desde 2018, los niveles de contaminación han sido variados, con incrementos por encima de los límites establecidos por la OMS (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018). En 2020, 8,5 millones de personas, el 18% de la población, lo que constituye un descenso de 4 millones respecto a 2019, respiró aire contaminado por debajo de los límites legales establecidos por la Directiva de la Unión Europea y 42 millones, es decir, el 88,4% de la población, se expuso a niveles de contaminación por encima de los umbrales establecidos por la OMS (Ecologistas en acción, 2021).

Los habitantes de la Comunidad Valenciana están afectados por estos niveles ya que el 80% de los valencianos respiran aire que superan los umbrales fijados en las recomendaciones internacionales (Europa Press, 2021). A pesar de las reducciones de los niveles de concentración de los contaminantes, casi todas las estaciones de control de la contaminación de este territorio registraron superaciones del valor octohorario recomendado por la OMS, superior a los 25 días que constituyen una referencia anual, dentro de las cuales, en el extremo superior de las mediciones de dicha Comunidad Autónoma, Coratxar, Morella y Zarra constan de 56, 44 y 39 días en los que se detectan superaciones de los valores recomendados por la OMS, respectivamente (Ecologistas en acción, 2021).

Con la presunción de que la paralización de la actividad económica ha causado la reducción de la contaminación, numerosos académicos e investigadores han estudiado los efectos de las medidas impuestas a nivel global durante la pandemia en relación a la

calidad del aire en diferentes zonas, los cuales establecen el estado de la cuestión sobre el tema. Las principales investigaciones, dentro del espacio temporal de la pandemia del COVID-19 y las restricciones de movilidad, se han situado en China, Estados Unidos, India y Europa, lo cual tiene su razón de ser en que estos son los territorios más contaminantes según las cifras de Naciones Unidas (Solís, 2021).

Dentro de los valores tomados en los diferentes artículos, la mayoría analizan las concentraciones horarias o diarias de NO_2 y $\text{PM}_{2,5}$ ya que sobre los niveles de concentración de tales partículas tiene gran influencia la actividad humana. Durante el periodo de confinamiento, de acuerdo con Archer, Cervone, Golbazi, Al Fahel y Hultquist (2020) a modo ejemplificativo, el transporte en vehículo partículas se reduce en Estados Unidos aproximadamente un 46% y el transporte de mercancías un 13%, lo cual es relevante al ser el tráfico la principal fuente de emisión de NO_2 . Adicionalmente, la medición de O_3 y SO_2 es frecuente, seguida de los niveles de concentración de CO , PM_{10} y NO_x . Finalmente, se toman en consideración los valores de NH_3 , BC y C_6H_6 en casos aislados.

No obstante, estas magnitudes se estudian en ocasiones en relación a una serie de distinciones como se muestra al contrastar los niveles de concentración de las diferentes partículas en zonas rurales y urbanas (Archer et., 2020), lo cual es dividido dentro del área metropolitana de Milán en zonas verdes e industriales (Sanninno, D'Emilio, Castellano, Amoruso y Boselli, 2020), hallando un aumento más elevado en las segundas áreas en ambos casos. Además, en los estudios localizados en zonas de China se analizan los efectos del Festival de Primavera que tuvo lugar simultáneamente al comienzo de la pandemia (Pei, Han, Ma, Su y Gong, 2020) y se tiene en consideración el Año Nuevo Chino a la vez que distintos fenómenos meteorológicos (Ming, Zhou, Ai, Bi y Zhong, 2020).

Estos trabajos, a su vez, han sido realizados considerando diferentes periodos temporales y contemplan una heterogeneidad de datos que pueden variar desde la recolección de datos de 2020 exclusivamente (Collivignarelli et al., 2020) o la apreciación de los valores tomados en 2019 y 2020 como comparación de un mismo periodo (Selvam et al., 2020), hasta la agrupación una serie de datos de carácter histórico siendo el máximo volumen de datos analizados desde 2015 (Zangari, Hill, Charette y Mirowsky, 2020).

Adicionalmente, estos periodos son generalmente divididos en fases de acuerdo con las distintas medidas aplicadas durante la pandemia y las correspondientes etapas de expansión del virus del COVID-19, siendo un hito el primer caso detectado en cada uno de los respectivos países.

Ante esta problemática, el advenimiento por el virus del COVID-19 ha sido un acontecimiento inédito en el mundo, frente al cual los gobiernos de los diferentes Estados y organizaciones internacionales han aplicado diferentes medidas legales para reducir las tasas de contagios por este virus y las alarmantes cifras de las muertes de sus ciudadanos. Estas restricciones han establecido diferentes limitaciones a la actividad económica y social de los habitantes, así como la libertad de circulación.

Durante el año 2020, el cese de la actividad humana ha causado niveles de concentración insospechados de las diferentes partículas contaminantes que determinan la calidad del aire. Estos hechos delimitan el problema fundamental de la presente investigación, donde se han detectado altos niveles de contaminación en la Comunidad Valenciana debido a la actividad industrial y al tráfico que, durante el primer de Estado de Alarma en España, desde el 14 de marzo hasta el 21 de junio de 2020, fueron objeto de notorias variaciones en los niveles de concentración de diferentes partículas contaminantes. Ante esto, se plantea la posibilidad de que exista una relación de causalidad entre ambos fenómenos o que estos cambios hayan sido motivados por otros desencadenantes.

Ante el problema a estudiar en esta investigación, se establece la siguiente hipótesis:

La reducción de los niveles de contaminación atmosférica ha sido una consecuencia de la reducción de la actividad económica y la movilidad producida por las limitaciones establecidas legalmente por el Gobierno de Pedro Sánchez durante el año 2020. Estas medidas están vinculadas por una relación de causalidad con la mejora de la calidad del aire.

En este sentido, en este trabajo se pretende realizar el siguiente objetivo:

Analizar el impacto de la reducción de la movilidad y por ende de la actividad económica durante el confinamiento sobre los niveles de contaminación en la Comunidad Valenciana.

Asimismo, para cumplir dicho fin, antes de comenzar este estudio han sido establecidos una serie de objetivos específicos:

- (i) Obtener, tratar y analizar datos que miden la calidad del aire en la Comunidad Valenciana mediante el uso del sistema informático MATLAB versión R2021a;
- (ii) Construir un modelo econométrico para evaluar el impacto de las medidas tomadas por COVID-19 en los niveles de contaminación, considerando además los efectos de datos meteorológicos;
- (iii) Implementar el modelo de regresión construido con el sistema informático R versión 4.0.3 en su entorno de desarrollo RStudio;
- (iv) Realizar un análisis espacial de los resultados del modelo estimado mediante el uso de la herramienta de visualización Tableau versión 2021.4; e
- (v) Interpretar los resultados de la investigación a partir de estadísticos y el empleo de gráficos para el análisis de las causas de las variaciones de los niveles de las diferentes partículas de contaminación atmosférica.

Estos objetivos serán satisfechos a través de tres capítulos que permitirán la comprobación de la hipótesis expuesta previamente.

En primer lugar, en el Capítulo 1 se establece el estado de la cuestión sobre la materia mediante el estudio de la contaminación atmosférica y sus diferentes herramientas de medición, así como la regulación sobre la materia y las diferentes medidas implementadas por el Gobierno español en 2020. De acuerdo con las diferentes mediciones de las partículas contaminantes recogidas en las estaciones de control de la calidad del aire, se analizarán sus distintas fuentes de emisión y consecuencias.

En segundo lugar, en el Capítulo 2 se lleva a cabo un análisis descriptivo de la metodología seguida en este trabajo. Esta constará principalmente de tres fases, (i) la selección y el tratamiento de datos, (ii) la aplicación de un modelo matemático de regresión lineal para la obtención de la relación entre los niveles de concentración de las diferentes partículas medidas y las diferentes variables meteorológicas o instrumentales consideradas, y (iii) la representación de datos por medio de Tableau versión 2021.4 y su posterior interpretación.

En tercer lugar, en el Capítulo 3 se realiza un análisis de los resultados del estudio a través de las tres fases descritas en la parte anterior. En este apartado tiene especial énfasis el

estudio analítico de los resultados y su exposición mediante gráficos y mapas por los cuales se determina la influencia de los diferentes factores meteorológico y el resto de variables.

Una vez finalizado el análisis se examinarán los resultados para realizar la verificación de la hipótesis establecida y la exposición de las diferentes conclusiones obtenidas en el trabajo acerca la situación durante el periodo delimitado en la Comunidad Valenciana.

CAPÍTULO 1. LA CALIDAD DEL AIRE. CAUSAS Y CONSECUENCIAS

1.1. Contaminación atmosférica y medición

Según la OMS, la contaminación atmosférica se define como aquella *“limitada a la situación en la cual la atmósfera exterior contiene una concentración de materiales que son perjudiciales para el ser humano y su entorno”* (ESA, 2013). La contaminación produce alteraciones que afectan a los seres vivos generando una pluralidad de riesgos para nuestra salud e incentivando el desarrollo de enfermedades. Además, puede incluso ocasionar daños a algunos bienes materiales por reacciones químicas como la corrosión que puede llegar a causar incluso daños estructurales a edificios (Amable et al., 2017).

Dentro de los contaminantes atmosféricos se deben distinguir dos categorías según su origen, los primarios y los secundarios, ya que, mientras los primarios se emiten directamente a la atmósfera, los secundarios se producen mediante procesos químicos (UBA, 2008). En esta distinción se pueden situar, por un lado, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre y el monóxido de carbono que se caracterizan como primarios y, por otro, el ozono que es secundario ya que surge como resultado de la reacción de la luz solar en hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (Gamboa, 1994). Asimismo, la contaminación del aire puede tener producirse de forma natural o antropogénico según su causante, es decir, puede proceder directamente del medio ambiente o estar causada por la actividad del ser humano (ESA, 2013). Estas clasificaciones tienen especial relevancia en el estudio del efecto de las medidas tomadas durante la pandemia ya que el cese de las actividades restringidas podrá afectar a la emisión de determinadas partículas de forma más representativa. A modo ejemplificativo, el efecto de la luz solar en la formación de ozono puede implicar una tendencia cíclica de acuerdo con las estaciones del año, con considerables aumentos de su concentración durante los meses de verano.

Adicionalmente, en ambientes exteriores e interiores se encuentran diferentes concentraciones de gases contaminantes, como consecuencia de la divergencia de fuentes según el ambiente. La calidad de aire exterior está influenciada principalmente por *“el consumo doméstico de energía para cocinar y calefaccionar, los vehículos, la generación de energía, la agricultura, la incineración de residuos y la industria”* (Organización

Mundial de la Salud [OMS], 2019). Esto se aprecia mediante el *smog*¹ que se suspende sobre las ciudades (OMS, 2019). Por otro lado, las partículas que existen en el interior están principalmente influenciados por el humo al cocinar, la exposición al tabaco o el uso de determinados productos de limpieza (UBA, 2008). Esta clasificación, a efectos de este trabajo, no tiene gran repercusión ya que nos centraremos en los niveles de contaminación en el exterior dado que es donde se localizan las estaciones de control. Sin embargo, es importante tomarla en consideración ya que indica una variación de contaminantes según el entorno.

Este problema, latente hoy en día, comenzó a tener relevancia tras la Revolución Industrial y ha ido evolucionando hasta alcanzar en la actualidad repercusiones globales. El desencadenante de la contaminación es procedente principalmente de emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes causados en procesos industriales (Fundación Aquae, 2021). Desde sus orígenes las organizaciones internacionales y los diferentes estados han intentado establecer ciertas limitaciones para evitar problemas de salud y otras posibles consecuencias de la contaminación atmosférica.

Actualmente, estos contaminantes deben mantenerse bajo unos límites establecidos por las normativas nacionales e internacionales y, en última instancia, en España los límites vigentes de la concentración de partículas contaminantes se monitorizan en estaciones de control positivizadas a través de las regulaciones de las Comunidades Autónomas al cederse dichas competencias (Amable et al., 2017). Estas competencias proceden del artículo 5 apartado 2 de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, según la cual, como Administraciones Públicas,

“Las comunidades autónomas, en el ejercicio de sus competencias, evaluarán la calidad del aire, podrán establecer objetivos de calidad del aire y valores límite de emisión más estrictos que los que establezca la Administración General del Estado de acuerdo con el artículo 5.1, adoptarán planes y programas para la mejora de la calidad del aire y el cumplimiento de los objetivos de calidad en su ámbito territorial, adoptarán las medidas de control e inspección necesarias para garantizar el cumplimiento de esta ley, y ejercerán la potestad sancionadora.

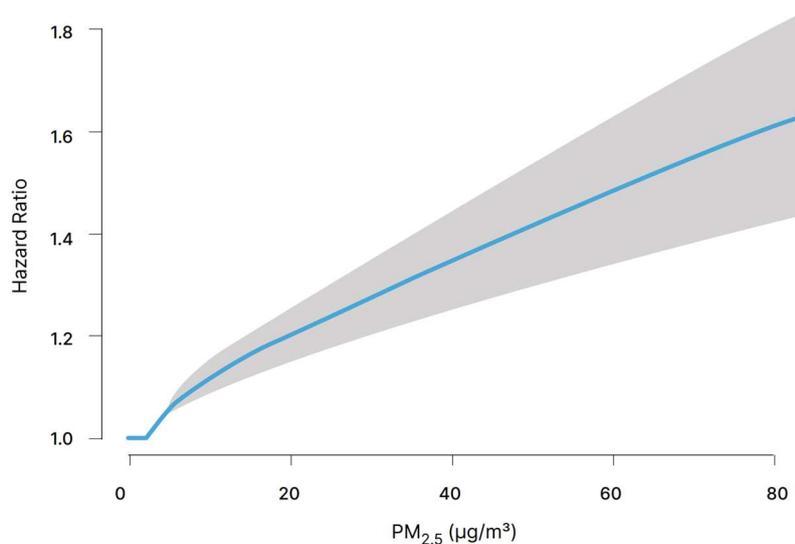
En este sentido, establecerán, dentro del ámbito de su territorio, criterios comunes que definan los procedimientos de actuación de los organismos de

¹ El *smog* “ocurre durante episodios de estabilidad de la atmósfera inferior que evita la mezcla de la masa de aire ... de las capas bajas con el aire más limpio de una altitud mayor” (Gamboa, 1994)

control autorizados (OCAs) con los que cuenten, así como las relaciones de estos con las diferentes administraciones competentes de su comunidad autónoma.”

De forma complementaria, la OMS (2021b), dentro de su objetivo como garante de la salud pública ofrece recomendaciones para la gestión de la calidad del aire. Estas sugerencias se expresan mediante la concentración de un determinado número de contaminantes considerados fundamentales a corto o largo plazo. Las indicaciones más actualizadas fueron publicadas en 2021 con sus nuevas Directrices que recomiendan niveles de calidad del aire respecto seis contaminantes clásicos. Los contaminantes estudiados en este informe son PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂ y CO. Asimismo, la OMS también detalla una serie de buenas prácticas relacionadas con la gestión de partículas en suspensión (World Health Organization [WHO], 2021).

Figura 1. Relación entre la exposición a largo plazo de PM_{2,5} (µg/m³) y la mortalidad por enfermedades no transmisibles y respiratorias.



Fuente: *Esta imagen ha sido obtenida de WHO (2021)*

Los límites establecidos por las Directrices se fijan a raíz de los cálculos realizados en 2016, según los cuales la contaminación atmosférica provoca 4,2 millones de muertes anuales. Estas cifras sobrecogedoras son producidas, de mayor a menor incidencia, por cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas y cáncer de pulmón. (OMS, 2021a).

Así como se puede apreciar en la Figura 1, la contaminación provoca riesgos a la salud de la población con el aumento de la ratio de peligrosidad (o *hazard ratio*) el cual está correlacionado con la concentración de PM_{2,5}. Estos datos demuestran que existe una relación directa entre el *Hazard ratio*, el cual es una estimación expresada exponencialmente del cambio esperado en la relación de riesgo de tener un accidente frente a no tenerlo por unidad de cambio del factor correspondiente y la partícula PM_{2,5} (Abdel-Aty, Uddin, Pande, Abdalla, y Hsia, 2004). La correlación entre ambas variables se traduce en un mayor riesgo de adquirir enfermedades respiratorias relacionadas con la exposición a altos niveles de dicho contaminante, lo cual demuestra que los efectos nocivos de la contaminación del aire no son producto de la casuística, sino que es un problema latente para la población.

Algunas de estas partículas, según ha sido estudiado y publicado en *Annals of the American Thoracic Society*, incrementan la tasa de mortalidad por COVID-19 a la vez de empeorar otras condiciones preexistentes, lo que aparece también (Redacción ConSalud, 2020).

A nivel internacional, la contaminación atmosférica tiene relevancia desde una perspectiva medioambiental ya está íntimamente conectada con el cambio climático y la protección del ecosistema. Por lo tanto, con el objetivo de proteger el planeta, entre otros fines, los líderes mundiales el 25 de septiembre de 2015 adoptaron una serie de elementos fundamentales en relación al desarrollo sostenible a cumplir en 2030, entre los cuales se delimitan algunos relacionados directamente con esta problemática como son las ciudades y comunidades sostenibles, la acción por el clima y la vida de ecosistemas terrestres (Figura 2) (Naciones Unidas, 2019). Estos objetivos tienen relevancia en este estudio ya que, como medidas que tendrán influencia en la mejora de la calidad del aire, repercuten en una posible tendencia descendiente en los niveles de contaminación que se estudian y deben valorarse al analizar la evolución cronológica de estos parámetros.

Figura 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible 11, 13 y 15.



Fuente: *Esta imagen ha sido obtenida de Naciones Unidas (2019)*

Al igual que en la elaboración de las recomendaciones de la OMS, la EPA y otras agencias utilizan para la medición de la contaminación atmosférica el ICA (UBA,2008). Este índice permite la monitorización de la calidad del aire en las estaciones de control a nivel nacional y se estableció mediante la consideración de una serie de parámetros relacionados con recomendaciones sanitarias. Con este fin, la normativa española en la aprobación del ICA establece seis categorías para calificar los niveles de contaminación en relación a su efecto sobre la salud en las distintas zonas geográficas, las cuales son: buena, razonablemente buena, regular, desfavorable, muy desfavorable, y extremadamente desfavorable. Para el cálculo de este índice se consideran los niveles de partículas en suspensión, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre y, entre los datos de todas las partículas, se toma el peor valor de cada estación, es decir, la medición del ICA será el nivel más elevado de concentración tras la comparación en tiempo real de los valores respecto a todas las partículas. En España, la Resolución de 2 de septiembre de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se modifica el Anexo de la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire estableciendo la metodología de cálculo uniforme y homogeneizando el criterio de medición de calidad del aire a nivel nacional. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019).

1.2. Regulación de la calidad del aire

La necesidad de disminuir los niveles de contaminación atmosférica implica indispensablemente la intervención de distintos agentes, por lo que existen normativas tanto internacionales como nacionales y autonómicas de acuerdo a las competencias

desarrolladas en el apartado anterior. Debido al enfoque en la Comunidad Valenciana de este estudio, a nivel normativo es relevante conocer la regulación en la Unión Europea, España y la Comunidad Valenciana ya que son las que han de aplicarse.

En cuanto a la Unión Europea, existen tres directivas y una decisión de la Comisión, cuya denominación se refleja a continuación:

- Directiva (UE) 2015/1480 de la Comisión de 28 de agosto de 2015 por la que se modifican varios anexos de las Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en los que se establecen las normas relativas a los métodos de referencia, la validación de datos y la ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del aire ambiente.
- Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.
- Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente.
- Decisión de la Comisión de 12 de diciembre de 2011 por la que se establecen disposiciones para la Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en relación con el intercambio recíproco de información y la notificación sobre la calidad del aire ambiente.

A nivel nacional, la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad de aire y protección de la atmósfera, como menciona en el Preámbulo, ha sido aprobada con el objetivo de:

“definir una nueva norma básica conforme con las exigencias de nuestro actual ordenamiento jurídico y administrativo, que se inspire en los principios, enfoques y directrices que definen y orientan la vigente política ambiental y de protección de la atmósfera en el ámbito de la Unión Europea y que dé adecuada cabida a los planteamientos y requisitos técnicos que conforman el acervo comunitario en materia de atmósfera, y el derivado de los correspondientes convenios internacionales”.

Adicionalmente, para el desarrollo de esta ley se aprueban las siguientes regulaciones:

- Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire, y la Resolución de 2 de septiembre de 2020, mencionada supra en modificación del Anexo de dicha Orden.
- Corrección de errores del Real Decreto 39/2017, de 27 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.
- Real Decreto 39/2017, de 27 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.
- Real Decreto 678/2014, de 1 de agosto, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

A nivel autonómico, las autoridades de la Comunidad Valenciana aprueban el Decreto 161/2003 en el que se crea la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica encargada de la medición de contaminantes en las diferentes estaciones de control (Generalitat Valenciana, 2019). A través de este organismo tienen efecto las competencias autonómicas de control de calidad del aire y serán de utilidad posteriormente para la obtención de los datos utilizados en este trabajo.

1.3. El virus del COVID-19 y la calidad del aire

La pandemia del COVID-19 fue un hecho trascendental que detuvo la actividad económica y social a nivel mundial, con la aplicación de medidas sanitarias en los distintos países. Debido a que estas medidas modificaron la movilidad de los ciudadanos a nivel global, es relevante conocer las fechas fundamentales de la aplicación de estas restricciones y el contenido de algunas de estas medidas para así analizar el posible efecto que tuvieron en los niveles de contaminación como se delimita en los objetivos de este estudio.

A finales de diciembre de 2019, China comunica a la comunidad internacional alertando a la OMS sobre la identificación de una serie de casos de neumonía de origen desconocido

en la ciudad de Wuhan. Estas infecciones se fueron extendiendo con un número alto de contagios hasta el día 13 de enero de 2020, fecha en la que se detecta el primer contagio fuera de China, en Tailandia. A pesar de los esfuerzos para evitar la propagación, el 30 de enero se declaró la enfermedad por el nuevo virus como emergencia de salud pública y de preocupación internacional hasta el 11 de febrero que la OMS lo denominó COVID-19 como abreviación de *coronavirus disease 2019*. Finalmente, el 11 de marzo de 2020, la OMS declaró pandemia mundial el COVID-19 y el 13 de marzo de 2020 Europa se convirtió en el epicentro de la pandemia. (Mojica-Crespo, 2020).

En España, el 31 de enero se detectó el primer caso en la isla de La Gomera y el 24 de febrero en la Península (Serrano-Cumplido et al., 2020). Tras la declaración de pandemia mundial, el 14 de marzo de 2020 el Gobierno de España en el Real Decreto 463/2020 declara el Estado de Alarma para la gestión de la crisis sanitaria aplicando medidas en las que se restringe la circulación de personas con determinadas excepciones delimitadas en su artículo. Entre las acciones permitidas estaban la adquisición de alimentos o productos farmacéuticos (BOE, 2020). Posteriormente, el 17 de marzo de 2020, el Gobierno español, dirigido por Pedro Sánchez, cerró las fronteras terrestres y el 15 de mayo de 2020 todas las fronteras marítimas y aéreas (European Commission, 2022). Este Estado de Alarma fue prorrogado seis veces hasta el 21 de junio de 2020 (Figura 3), no obstante, tras el Plan de desescalada aprobado el 28 de abril de 2020 se fueron levantando algunas restricciones en dependencia de los niveles de contagio de las distintas provincias. (La Moncloa, 2021)

Figura 3. Cronología del Estado de Alarma.



Fuente: Esta imagen ha sido obtenida de La Moncloa (2021)

Posteriormente, el segundo Estado de Alarma se declaró del 9 al 24 de octubre delimitando la aplicación de medidas al territorio de nueve municipios de la Comunidad de Madrid. El tercer Estado de Alarma fue aprobado el 25 de octubre en todo el territorio español hasta el 9 de mayo de 2021 con una serie de medidas variables y dependientes del número de contagios en los municipios o zonas sanitarias (La Moncloa, 2021).

La aplicación de las medidas para hacer frente al virus COVID-19 durante los Estados de Alarma en España han sido el desencadenante de la disminución drástica de la actividad económica y de la movilidad de la población. Esto ha causado ciertas influencias de forma multidimensional, ya que, según los estudios recientes que se mencionan previamente, en lo que a la calidad del aire se refiere, los niveles de contaminación de las distintas partículas han sido muy variables.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Una vez estudiado el marco teórico y jurídico en relación a la contaminación a niveles nacionales e internacionales, el contexto de la pandemia del COVID-19 y las medidas aplicadas en España, se procede a analizar estos efectos en la Comunidad Valenciana.

Con este fin se ha propuesto una metodología que permitirá analizar los efectos de las medidas de movilidad sobre los niveles de contaminación. Este capítulo a su vez ha sido dividido en tres apartados. En primer lugar, se realiza la selección y tratamiento de datos usando la herramienta MATLAB versión R2021a. En segundo lugar, por medio de un modelo de regresión lineal se obtienen las variaciones acaecidas en los niveles de contaminación de la Comunidad Valenciana. Finalmente, los datos obtenidos se interpretarán para concluir si la pandemia del COVID-19 ha favorecido la disminución de la contaminación atmosférica, para lo cual se usa Tableau versión 2021.4 como herramienta de visualización para representar los datos.

2.1. Datos de contaminación atmosférica

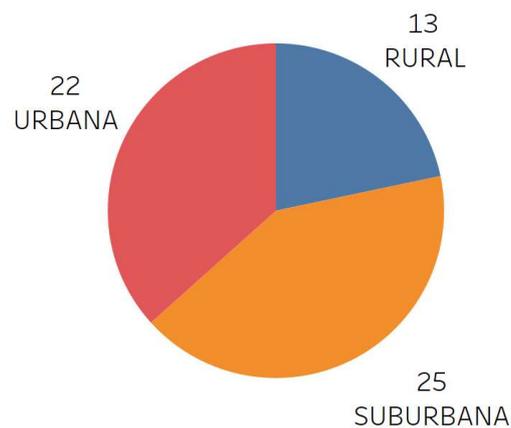
La Comunidad Valenciana es una de las 17 comunidades autónomas en España, la cual está dividida en tres provincias: Alicante, Castellón y Valencia. Según el Padrón municipal de habitantes, a fecha de 1 de enero de 2021 el total de la población ascendía a 5.058.138 (Generalitat Valenciana, 2022). Por lo tanto, puede considerarse una comunidad con gran importancia en España y una actividad económica de relevancia en la Unión Europea.

Con un territorio de 23.255 km² (INE, 1994), la Comunidad Valenciana está formada por 542 municipios, de los cuales Valencia destaca con un 15,6% de la población y, en orden descendiente le siguen Alicante, Elche y Castellón (Generalitat Valenciana, 2021). Por lo tanto, a pesar de la existencia de ciertos núcleos urbanos, la división territorial de la Comunidad Autónoma consta de un gran número de zonas rurales.

Las características del territorio analizado harán relevante por lo descrito en este apartado la distinción entre zonas rurales y urbanas en la situación de las estaciones de medición. En el conjunto de datos analizados, las estaciones rurales conforman el menor número,

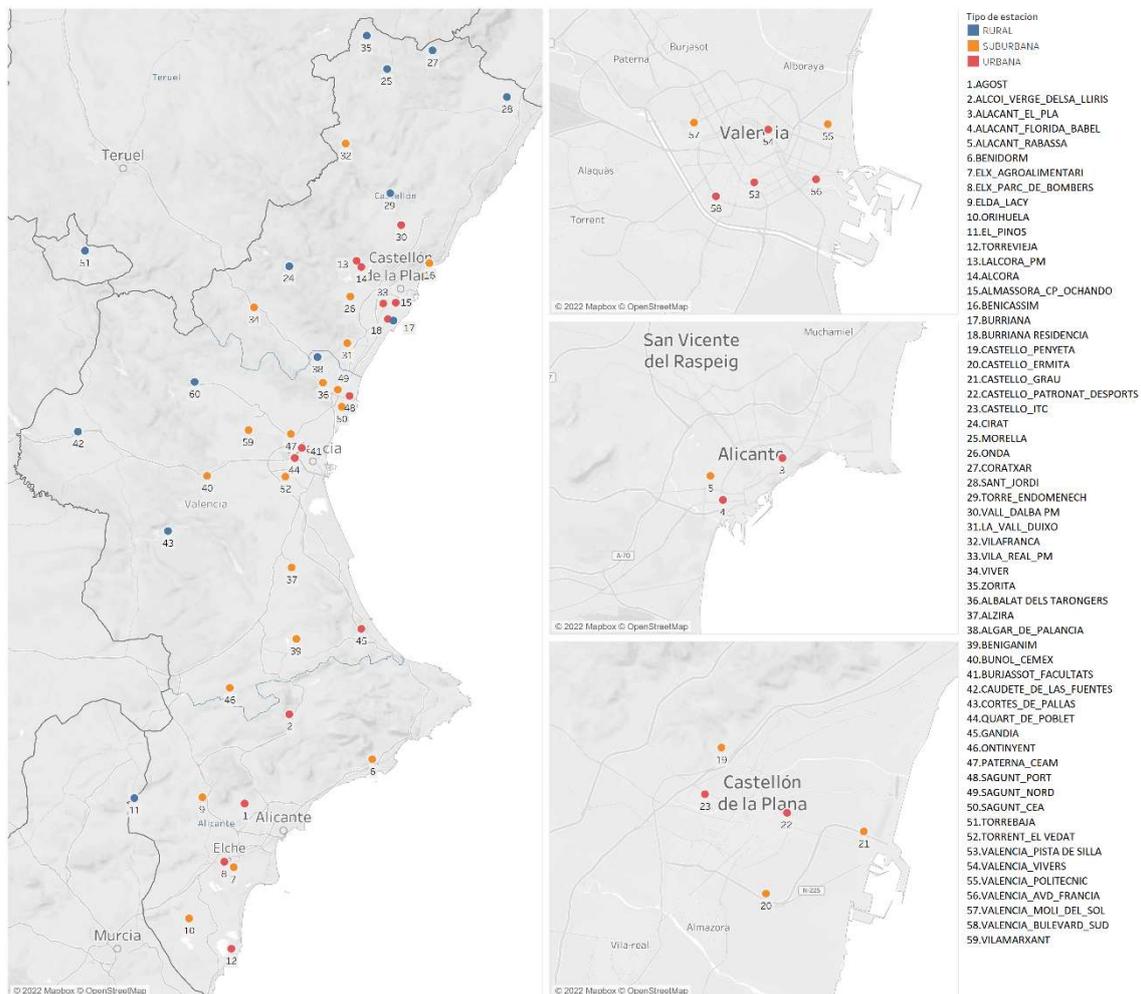
como se muestra en el gráfico de la Figura 4, con tan solo 13 puntos de recogidas de datos lo que representa el 21,7%, mientras que hay 22 estaciones urbanas y 25 suburbanas, en una proporción de 36,7% y 41,6% respectivamente. Esta distribución permite la diversidad en la recogida de datos incluyendo estaciones enclavadas en lugares remotos, la geografía rural permite el control de las partículas contaminantes en las regiones más apartadas de la Comunidad Valenciana. La localización de las distintas estaciones de control de calidad del aire, de acuerdo con la distinción en la naturaleza, rural, suburbana y urbana de las zonas en las que se encuentran, se muestra en la Figura 5. En este mapa se reflejan independientemente los puntos de control en Valencia, Alicante y Castellón al ser las capitales de provincia y la mayoría de las principales ciudades de esta Comunidad Autónoma.

Figura 4. Reparto de estaciones según el tipo de área donde se encuentran.



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 5. Mapas de las estaciones de control de contaminación en la Comunidad Valenciana con la distinción de Valencia, Alicante y Castellón (derecha).



Fuente: *Elaboración propia*

En este trabajo se utilizan los datos recogidos por las 60 estaciones de control de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica y el Índice de Calidad del Aire. Estas estaciones tienen sistemas de medición de la calidad del aire y, de acuerdo con la normativa europea, *“pretenden realizar un diagnóstico integral del área a controlar, para así disponer de una información correcta, continua y correlacionable a tiempo real sobre los niveles de inmisión presentes en una determinada zona”* (Generalitat Valenciana, 2019). Mediante esta plataforma, se obtienen las mediciones por hora de los contaminantes atmosféricos y ozono desde entre 2001 y 2020.

Adicionalmente, se tienen en cuenta los datos meteorológicos descargados desde la plataforma de datos abiertos de AEMet por medio del API key que se ha proporcionado.

De aquí serán extraídos los datos de altitud, temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento y presión atmosférica por hora en sus valores máximos, mínimos y medios. Igualmente, se incluyen los datos geográficos de latitud y longitud de las estaciones climáticas. Los datos extraídos serán aquellos tomados desde 2010 en las 16 estaciones climatológicas distribuidas en la Comunidad Valenciana.

Otros episodios naturales que tienen influencia en la contaminación son la intrusión del polvo del Sahara, la combustión de biomasa y los sulfatos europeos, datos que son recogidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020c). Además, también se mide la influencia de los sábados, domingos y festivos incluyéndolos como variables de control, así como las diferentes fases de los Estados de Alarma mencionadas en el capítulo anterior, el confinamiento estricto y la relajación de medidas desde el 28 de abril hasta la finalización del Estado de Alarma.

Todos estos datos han sido tratados posteriormente con el sistema informático MATLAB versión R2021a, mediante el cual se obtienen diferentes ficheros *csv* divididos por estaciones de control de contaminación y el año en el que se han tomado las mediciones.

2.2. Construcción de un modelo de regresión

Es conocido que el comportamiento de los niveles de las partículas contaminantes depende en gran medida de un conjunto de factores que actúan fundamentalmente como desencadenante de la contaminación y que están muy relacionadas con las actuaciones de la sociedad. Entre las que se han considerado en este trabajo se tienen los niveles de concentración de las siguientes partículas O_3 , NO_x , NO_2 , NO , SO_2 , C_6H_6 , $PM_{2,5}$ y PM_{10} , de las cuales se ha calculado la media diaria en $\mu g/m^3$.

Analizar cómo actúa cada una de las variables mencionadas anteriormente manteniendo el resto constante es posible mediante la estimación de una función cuyos coeficientes asociados a cada variable se interpretan como el efecto que dicha medida tiene sobre los niveles de contaminación de una concreta partícula. La estimación de dichos coeficientes

corresponde a un problema de optimización en el que el interés es encontrar aquellos β que obtienen el mínimo de la suma de los errores al cuadrado.

El modelo de regresión lineal es un modelo matemático por el cual se analiza la relación entre una variable, la variable dependiente Y, con especial interés respecto a un conjunto de variables, las variables independientes $X_1, X_2, \dots X_n$ (Moral, 2016).

En este caso, se mide esta relación para estimar el efecto en los niveles de los diferentes contaminantes medidos, lo cual indica su aplicación con fines explicativos. Por lo tanto, la variable dependiente es la media de las mediciones horarias de los niveles de concentración por días a la que se aplica el logaritmo neperiano, lo cual se debe a la tendencia descendente de la contaminación la cual alteraría el modelo en caso de ausencia de la forma logarítmica. Como se mostrará en el Capítulo 3, la distribución de los datos de los niveles de contaminación está en cierta medida sesgado positivamente (Figura 19), lo cual manifiesta la necesidad de utilizar la función logarítmica. Adicionalmente, esto permitirá obtener resultados de la influencia de las variables independientes en términos porcentuales.

En cuanto a las variables independientes, se utilizan las 11 variables detalladas ulteriormente dado que, en la investigación inicial y respecto al estado actual sobre la materia, han sido consideradas las de mayor influencia. Estas variables hacen referencia principalmente a los patrones climatológicos, determinados episodios naturales, la jornada laboral y las fases del confinamiento, como se indica en la selección de datos.

A partir de los datos obtenidos, el modelo de regresión lineal aplicado en este estudio es representado por la fórmula 1.

$$\ln(Y_{itk}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot C + \beta_2 \cdot D + u \quad [1]$$

donde,

Y_{itk} : significa la media diaria de la partícula i en el tiempo t en la estación de medición k para $i = O_3, NO_x, NO_2, NO, SO_2, C_6H_6, PM_{2,5}, PM_{10}$; t = hace referencia a cada día entre los años 2017-2021; y k las estaciones de control de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica y el Índice de Calidad del Aire.

- C: significa un vector que describe un conjunto de las variables continuas incluidas que son la temperatura media en grados Celsius ($^{\circ}$ C), la velocidad del viento en km/h y las precipitaciones en mm (l/m^2).
- D: significa un vector que contiene un conjunto de variables dicotómicas que presumiblemente tienen efecto sobre los niveles de contaminación. Entre ellas se encuentran: la fase 0 que indica los días de confinamiento en España, la fase 1 que incluye el levantamiento de medidas estrictas, los sábados, los domingos, los festivos en la Comunidad Valenciana, la intrusión del polvo africano, la combustión de biomasa y los sulfatos europeos.

Como resultado del modelo de regresión en la optimización de la estimación de errores, se obtienen los coeficientes β que tendrán distintos significados, siendo el más sencillo el coeficiente β_0 que es un término constante e indica el origen del modelo.

El coeficiente β_1 es un vector de coeficientes asociados a las variables de clima. Estos coeficientes indican por un valor porcentual la variación del comportamiento de los niveles de concentración de la partícula i a partir de la variación unitaria de una variable de clima mientras el resto permanecen constantes, es decir, contiene las pendientes del modelo. Por otro lado, el coeficiente β_2 es un vector que incluye los coeficientes asociados a la presencia de las variables dicotómicas (*dummies*) medirán el efecto porcentual de la variable sobre los efectos de contaminación. Finalmente, la variable u es una perturbación aleatoria o término de error del modelo que no será observable (Novales, 2010).

De esta forma, la aplicación de este modelo permitirá alcanzar el objetivo del trabajo ya que, mediante él obtendremos en valores porcentuales la elección entre la variación de las diferentes partículas y las variables seleccionadas.

2.3. Análisis de los resultados

En último lugar, tras la selección y tratamiento de datos y la aplicación del modelo de regresión lineal detallado en el presente trabajo, se procede a realizar un análisis exploratorio del comportamiento de los contaminantes en la Comunidad Valenciana y su relación con la pandemia del COVID-19.

En este análisis se utiliza el sistema informático de visualización Tableau versión 2021.4, mediante la diferenciación en tres fases, se hará la representación e interpretación de los resultados. En la primera parte, se hace un análisis del cambio de la concentración de aquellos contaminantes cuya variación tiene valores más significativos, los cuales son principalmente los óxidos de nitrógeno y el ozono. Este estudio se realiza por medio de gráficos y mapas que comparan los coeficientes de distintas variables. En la segunda parte, se representa la evolución de los valores de contaminación en algunas estaciones donde se contemplan adicionalmente posibles tendencias de mejora de la calidad del aire obtenidas por la aplicación de límites mundiales. Finalmente, se contempla el efecto del resto de fenómenos, principalmente las variables meteorológicas y algunos episodios naturales, respecto de las partículas estudiadas.

En las dos primeras fases descritas, en el análisis tendrá gran relevancia la clasificación de las estaciones como rurales, suburbanas o urbanas expuesta previamente en el presente capítulo.

CAPITULO 3. RESULTADOS

3.1. Selección y tratamiento de datos

Con el fin de realizar el análisis de forma apropiada, debemos realizar en primer lugar la selección de datos de la calidad de aire en la Comunidad Valenciana, para lo cual se parte de los conjuntos de datos de la página web del *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* (2020a), que contiene las mediciones tomadas en las estaciones de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica y el Índice de Calidad del Aire. En los datos obtenidos (Figura 6) se observa que los contaminantes figuran en las columnas y las estaciones, fecha y hora en las filas. De esta forma se obtiene un conjunto de datos extenso y debe tenerse en cuenta la influencia de la mejora de la calidad del aire a largo plazo por las medidas tomadas.

Figura 6. Muestra de datos obtenidos de diciembre de 2020.

| COD_ESTACION NOM_ESTACION | FECHA | HORA | SO2 | CO | NO | NO2 | NOx | O3 | PM10 | PM2.5 | PM1 |
|-----------------------------------|------------|------|-----|-----|----|-----|-----|----|------|-------|-----|
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 0 | 3 | 0,1 | 1 | 4 | 4 | 28 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 1 | 3 | 0,1 | 1 | 3 | 4 | 23 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 2 | 3 | 0,1 | 1 | 4 | 4 | 16 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 3 | 3 | 0,1 | 1 | 4 | 5 | 16 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 4 | 3 | 0,1 | 1 | 6 | 6 | 18 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 5 | 3 | 0,1 | 1 | 8 | 9 | 16 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 6 | 3 | 0,1 | 1 | 20 | 21 | 11 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 7 | 3 | 0,1 | 1 | 17 | 18 | 11 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 8 | 3 | 0,1 | 2 | 19 | 22 | 13 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 9 | 3 | 0,1 | 5 | 18 | 24 | 20 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 10 | 3 | 0,1 | 9 | 23 | 37 | 23 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 11 | 3 | 0,1 | 10 | 21 | 36 | 36 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 12 | 4 | 0,1 | 7 | 20 | 30 | 44 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 13 | 3 | 0,1 | 5 | 17 | 24 | 59 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 14 | 3 | 0,1 | 1 | 6 | 7 | 78 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 15 | 3 | 0,1 | 1 | 6 | 7 | 75 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 16 | 3 | 0,1 | 1 | 7 | 8 | 72 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 17 | 3 | 0,1 | 1 | 15 | 15 | 55 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 18 | 3 | 0,1 | 7 | 54 | 66 | 6 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 19 | 3 | 0,1 | 2 | 36 | 39 | 14 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 20 | 3 | 0,1 | 4 | 44 | 50 | 9 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 21 | 4 | 0,1 | 1 | 30 | 31 | 19 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 22 | 4 | 0,1 | 1 | 20 | 21 | 34 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 01/12/2020 | 23 | 3 | 0,1 | 1 | 24 | 25 | 29 | - | - | - |
| 3009006 ALCOI - VERGE DELS LLIRIS | 02/12/2020 | 0 | 3 | 0,1 | 1 | 16 | 16 | 36 | - | - | - |

Fuente: *Datos obtenidos en Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020a)*

Adicionalmente, deben añadirse variables adicionales para tener en consideración los datos meteorológicos dada la influencia climatológica de otros fenómenos. Los datos geográficos de latitud y longitud de las estaciones climáticas, que posteriormente deben relacionarse con las estaciones de control de la contaminación, también tienen relevancia en el estudio. Estos datos se extraerán de forma individual por cada una de las estaciones halladas en la Comunidad Valenciana en diferentes ficheros *json*.

Para la obtención de datos sobre los episodios naturales que serán estudiados en este trabajo, lo cual engloba a la intrusión por el polvo del Sahara, la combustión de biomasa y los sulfatos europeos, se parte de un conjunto de datos donde se indican en qué días se han dado estos fenómenos, lo cual se incluirá en el modelo de regresión a través de la creación de variables dicotómicas a partir de estas indicaciones. Estos datos se extraen de la página web del Gobierno de España, mediante el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. La intrusión de polvo africano, así como la combustión de biomasa, originada principalmente por incendios forestales, altera los valores de partículas en suspensión empeorando la calidad del aire, el cual sufre un mayor deterioro por la circulación de viento en la península. Del mismo modo, la contaminación atmosférica aumenta por el transporte de contaminantes de otros países de Europa, los denominados sulfatos europeos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020b). Estas variables dicotómicas son incluidas para su estudio en una tabla a la que se denomina DATOS_ADICIONALES.

Dicha tabla, que se elabora de forma complementaria, contiene cinco variables que serán agregadas al estudio. Estas variables son igualmente dicotómicas y dependen principalmente de la circulación de la población en transporte terrestre o aéreo. Estas variables se denominan “*Sábado*”, “*Domingo*”, “*Festivo*”, “*Fase 0*” y “*Fase 1*” y tomarán el valor 1 siempre que se cumpla la condición de la que dependen y 0 en caso contrario. Por lo tanto, las variables “*Sábado*”, “*Domingo*” y “*Festivo*” indican si el día en el que se toma la observación no es un día hábil e identifica su razón y las variables “*Fase 0*” y “*Fase 1*” dependen de las medidas tomadas por el Gobierno de Pedro Sánchez desde marzo de 2020 como se estudia en el Capítulo 1. Estas últimas variables indican las fases del confinamiento y lo dividen en dos etapas, la “*Fase 0*” entre los días del 14 de marzo al 27 de abril de 2020 y la “*Fase 1*” del 28 de abril al 21 de junio de 2020, ya que en estas fechas se comenzaron a levantar las medidas impuestas por la pandemia permitiendo la circulación y actividad económica aunque aún de forma restringida.

Una vez obtenidos los datos a utilizar en el estudio, se procede, mediante la herramienta MATLAB versión R2021a, a tratar los datos para adecuarlos al formato necesario para la posterior aplicación del modelo de regresión.

3.1.1. Carga de datos a MATLAB

En primer lugar, es necesario cargar los datos obtenidos a MATLAB versión R2021a, para lo cual se crean tres funciones que se encargan de (a) crear directorios, (b) leer las variables y (c) unir los diferentes ficheros CSV según las variables. En cuanto a la creación de directorios, se nombran tres que localizarán en el equipo los datos a tratar de la Comunidad Valenciana, el código que creando y los resultados extraídos al finalizar el tratamiento en un documento Excel. Para leer variables, el programa abrirá un fichero que contiene las variables de las tablas de datos y se creará una tabla en blanco. Por último, para añadir los datos, se crea una función denominada LEER_Y_JUNTAR_TODOS_CSV_SEGUN_VARIABLES_VALENCIA que toma las variables, los directorios de datos y de código y los unifica mediante una serie de funciones y bucles *for*.

Al realizar este paso se obtiene una tabla de 10.534.572 observaciones y 45 variables conteniendo los datos de contaminación atmosférica en las estaciones de control de la Comunidad Valenciana (Figura 7).

Figura 7. Tabla obtenida al leer datos de estaciones de control de calidad del aire en la Comunidad Valenciana.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----------------------|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|------|------|-----|
| COD_ESTACIONOM_ESTAC | FECHA | HORA | SO2 | CO | NO | NO2 | NOX | O3 | PM10 | PM2_5 | PM1 | NH3 | C6H6 | C7H8 | |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 0 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 1 | 5 | NaN | 10 | 15 | 30 | 54 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 2 | 5 | NaN | 9 | 16 | 30 | 53 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 3 | 5 | NaN | 12 | 21 | 39 | 47 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 4 | 6 | NaN | 34 | 54 | 106 | 15 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 5 | 6 | NaN | 29 | 51 | 95 | 16 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 6 | 6 | NaN | 16 | 45 | 70 | 19 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 7 | 6 | 1 | 10 | 29 | 45 | 30 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 8 | 6 | 1 | 15 | 31 | 54 | 32 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 9 | 7 | 1 | NaN | NaN | NaN | 42 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 10 | 8 | NaN | 14 | 30 | 51 | 47 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 11 | 6 | NaN | 7 | 10 | 21 | 64 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 12 | 6 | NaN | 11 | 12 | 28 | 63 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 13 | NaN | NaN | 14 | 14 | 36 | 60 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 14 | 7 | NaN | 15 | 16 | 40 | 59 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 15 | 8 | NaN | 14 | 15 | 36 | 60 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 16 | 7 | NaN | 14 | 17 | 38 | 59 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 17 | 10 | NaN | 20 | 37 | 68 | 35 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 18 | 12 | NaN | 36 | 63 | 118 | 13 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 19 | 15 | NaN | 56 | 68 | 154 | 8 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 20 | 12 | 1 | 22 | 37 | 70 | 40 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 21 | 10 | NaN | 11 | 18 | 35 | 53 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 22 | 11 | NaN | 12 | 15 | 33 | 53 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 01/01/2001 | 23 | 10 | NaN | 11 | 16 | 32 | 51 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 02/01/2001 | 0 | 9 | NaN | 9 | 15 | 29 | 51 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 02/01/2001 | 1 | 8 | NaN | 6 | 9 | 18 | 56 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 02/01/2001 | 2 | 7 | NaN | 6 | 8 | 17 | 55 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 3009002'ROSALEDA' | 02/01/2001 | 3 | 7 | NaN | 6 | 8 | 17 | 60 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |

Fuente: *Elaboración propia*

3.1.2. Cambio de formato del conjunto de datos

En segundo lugar, se debe ajustar el formato de los datos (Figura 7) de acuerdo con el modelo (Figura 8) para posteriormente aplicar el modelo de regresión. Como se puede apreciar, el modelo, al contrario que los datos de los que se parte en esta fase, clasifica las horas en las columnas y los contaminantes en las filas, por lo tanto, se debe invertir la manera en que están organizados los datos.

Figura 8. Formato a usar como modelo de datos de las estaciones de control en Cataluña.

| CODI EOI | NOM ESTACI | DATA | MAGNITUD | CONTAMINA | UNITATS | TIPUS ESTACI | AREA | URBAN | CODI INE | MUNICIPI | CODI COMAF | NOM COMAF | 01h | 02h | 03h |
|----------|----------------|------------|----------|-----------|---------|--------------|----------|-------|----------|---------------|------------|----------------|-----|-----|-----|
| 8260010 | Santa PerpÀ | 10/03/2021 | 1 | SO2 | Àug/m3 | traffic | suburban | | 8260 | Santa PerpÀ | 40 | VallÀ's Occid | 1 | 1 | 1 |
| 8169009 | El Prat de Llo | 10/03/2021 | 12 | NOX | Àug/m3 | background | suburban | | 8169 | Prat de Llobr | 11 | Baix Llobrega | 59 | 35 | 25 |
| 17184001 | Santa Pau | 10/03/2021 | 7 | NO | Àug/m3 | background | rural | | 17184 | Santa Pau | 19 | Garrotxa | 1 | 1 | 1 |
| 43171002 | Vila-seca (IES | 10/03/2021 | 65 | H25 | ug/m3 | background | suburban | | 43171 | Vila-seca | 36 | TarragonÀ's | 11 | 1 | 11 |
| 17079003 | Girona (Escol | 10/03/2021 | 7 | NO | Àug/m3 | traffic | urban | | 17079 | Girona | 20 | GironÀ's | 2 | 3 | 2 |
| 8187012 | Sabadell | 10/03/2021 | 10 | PM10 | Àug/m3 | traffic | urban | | 8187 | Sabadell | 40 | VallÀ's Occid | 25 | 20 | 15 |
| 8202001 | Sant Celoni | 10/03/2021 | 10 | PM10 | Àug/m3 | background | suburban | | 8202 | Sant Celoni | 41 | VallÀ's Orien | 16 | 16 | 13 |
| 8252006 | BarberÀ del | 10/03/2021 | 8 | NO2 | Àug/m3 | background | urban | | 8252 | BarberÀ del | 40 | VallÀ's Occid | 47 | 17 | 12 |
| 43148003 | Tarragona (B | 10/03/2021 | 1 | SO2 | Àug/m3 | industrial | suburban | | 43148 | Tarragona | 36 | TarragonÀ's | 1 | 1 | 1 |
| 8279011 | Terrassa | 10/03/2021 | 14 | O3 | Àug/m3 | traffic | urban | | 8279 | Terrassa | 40 | VallÀ's Occid | 61 | 62 | 61 |
| 8113007 | Manresa | 10/03/2021 | 1 | SO2 | Àug/m3 | traffic | urban | | 8113 | Manresa | 7 | Bages | 4 | 5 | 4 |
| 8096014 | Granollers | 10/03/2021 | 10 | PM10 | Àug/m3 | traffic | urban | | 8096 | Granollers | 41 | VallÀ's Orien | 27 | 25 | 29 |
| 8252006 | BarberÀ del | 10/03/2021 | 7 | NO | Àug/m3 | background | urban | | 8252 | BarberÀ del | 40 | VallÀ's Occid | 8 | 2 | 2 |
| 8301004 | Viladecans - | 10/03/2021 | 14 | O3 | Àug/m3 | background | suburban | | 8301 | Viladecans | 11 | Baix Llobrega | 51 | 73 | 69 |
| 43013002 | L'Ametlla de | 10/03/2021 | 7 | NO | Àug/m3 | background | rural | | 43013 | Ametlla de V | 9 | Baix Ebre | 1 | 1 | 1 |
| 43047001 | ConstantÀ- | 10/03/2021 | 30 | C6H6 | Àug/m3 | industrial | suburban | | 43047 | ConstantÀ- | 36 | TarragonÀ's | 6 | 6 | 6 |
| 43005002 | Alcover | 10/03/2021 | 14 | O3 | Àug/m3 | industrial | rural | | 43005 | Alcover | 1 | Alt Camp | 88 | 84 | 76 |
| 25209001 | Sort | 10/03/2021 | 10 | PM10 | Àug/m3 | background | rural | | 25209 | Sort | 26 | Pallars Sobirà | 7 | 3 | 3 |
| 25120001 | Lleida | 10/03/2021 | 10 | PM10 | Àug/m3 | traffic | urban | | 25120 | Lleida | 33 | SegriÀ | 13 | 13 | 12 |
| 8169008 | El Prat de Llo | 10/03/2021 | 8 | NO2 | Àug/m3 | background | suburban | | 8169 | Prat de Llobr | 11 | Baix Llobrega | 45 | 21 | 17 |
| 8137001 | Montseny (Li | 10/03/2021 | 1 | SO2 | Àug/m3 | background | rural | | 8137 | Montseny | 41 | VallÀ's Orien | 1 | 1 | 1 |
| 8307012 | Vilanova i la | 10/03/2021 | 14 | O3 | Àug/m3 | traffic | suburban | | 8307 | Vilanova i la | 17 | Garraf | 41 | 50 | 55 |
| 8015021 | Badalona | 10/03/2021 | 7 | NO | Àug/m3 | background | urban | | 8015 | Badalona | 13 | BarcelonÀ's | 2 | 2 | 1 |

Fuente: Estos datos han sido obtenidos de Dades Obertes Catalunya (2021).

Una vez invertidas las filas por las columnas se utiliza principalmente la función `stack` mediante el código *infra*:

```
stack(T(:,1:ncol-
1), var(5:ncol), 'NewDataVariableName', 'CANTIDAD', 'IndexVariableName', 'CONTAMINANTES', 'ConstantVariables', {'HORA', 'COD_ESTACION', 'NOM_ESTACION'});
```

Esta función toma los contaminantes como índice y crea una nueva variable denominada "CANTIDAD" que indica el valor del contaminante y le asigna la hora, el código y nombre de estación correspondiente del conjunto de datos iniciales. Para aplicar esta función, previamente ha sido necesario hacer una serie de ajustes como cambiar el formato de la tabla a *timetable*. A continuación, se convierten las horas en columnas mediante un bucle *for*.

Al ejecutar el código de la función creada que comprendía este código se obtenía la tabla esperada como resultado al utilizar una muestra de 1000 observaciones, sin embargo, con todo el conjunto de datos, el programa mostraba un error que aparecía como “OUT OF MEMORY” al ejecutar el *stack*. Para solucionarlo se incluyó la función *rmmising* previamente al *stack*, de tal forma que si una observación no contenía ninguno de los contaminantes, se eliminaría.

Para completar los datos y adecuarlo al modelo que se ha fijado como objetivo (Figura IX), se añadió mediante otra función los datos de ubicación de las estaciones de control de contaminación atmosférica. Con este fin, se creó otra función por la cual el documento que contiene los datos de las estaciones se carga y, con *outerjoin*², se unen a la tabla utilizando como clave el código de las estaciones.

Por último, se crea una función por la cual se realizan unas últimas modificaciones así como el ajuste de la posición de las columnas, las variables y el tipo de datos. Asimismo, añadimos, partiendo la variable de contaminantes, la unidad de medida de la misma y una variable para añadir la magnitud que se añade de nuevo mediante *outerjoin*.

Al finalizar este paso se obtiene una tabla de 3.644.723 observaciones y 39 variables, de las cuales 9 harán referencia a los datos extraídos de la tabla de las estaciones de control y harán referencia a sus datos de ubicación principalmente (Figura 9).

² La función preestablecida de MATLAB *outerjoin()* combina las filas de una tabla guiándose por la variable fijada como clave e incluyendo todos los valores aunque no se encuentren en ambos conjuntos de datos

Figura 9. Tabla obtenida al realizar los cambios pertinentes para adecuar los datos al modelo de la Figura 8.

| COD_ESTACIONOM_ESTAC | FECHA | MAGNITUD | CONTAMIN/ | UNIDADES | TIPO_ESTACI | TIPO_AREA | COD_MUNICN | MUNICIPICOD | PROVIN | PROVINCI | 01h | 02h | 03h | 04h |
|----------------------|------------|------------|-----------|----------|---------------|-----------|------------|---------------|--------|--------------|-----|-----|-----|-----|
| "12005005" | "L'ALCORA" | 29/04/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 1 | 0 | 0 | 0 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 30/04/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 2 | 3 | 3 | 3 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 01/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 5 | 6 | 4 | 3 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 02/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 3 | 3 | 2 | 2 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 03/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 5 | 5 | 2 | 2 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 04/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 1 | 1 | 1 | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 05/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 2 | 2 | 2 | 2 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 06/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 2 | 1 | 2 | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 07/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 2 | 2 | 2 | 2 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 08/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 1 | 1 | 1 | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 09/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 4 | 8 | 2 | 3 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 10/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 6 | 5 | 4 | 5 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 11/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 2 | 2 | 1 | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 12/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | NaN | NaN | NaN | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 13/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 3 | 3 | 3 | 6 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 14/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 5 | 3 | 2 | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 15/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 19 | 22 | 25 | 11 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 16/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 0 | 1 | 1 | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 17/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 1 | 1 | 1 | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 18/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 0 | 0 | 0 | 0 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 19/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 3 | 4 | 5 | 6 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 20/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 2 | 2 | 2 | 2 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 21/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 4 | 4 | 4 | 4 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 22/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 2 | 2 | 4 | 4 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 23/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 5 | 7 | 7 | 8 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 24/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 6 | 7 | 7 | 7 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 25/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 1 | 2 | 2 | 1 |
| "12005005" | "L'ALCORA" | 26/05/2003 | 99SO2 | 'µg/m3' | "INDUSTRI..." | "URBANA" | "5" | "ALCORA (..." | "12" | "CASTELL..." | 1 | 6 | 4 | 3 |

Fuente: *Elaboración propia*

3.1.3. Tratamiento de variables y filtro de variables y observaciones

Antes de obtener los datos definitivos para ser usados, se deben hacer una serie de cambios adicionales, dentro de los cuales es necesario modificar el conjunto de datos mostrado en la Figura 9 para ajustarse a otra tabla proporcionada (Figura 10).

Figura 10. Modelo de datos de Cataluña para modificar el conjunto de datos obtenido de la Comunidad Valenciana.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----|----------|-----------------------|--------------|----------|------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | CODIEOI | NOMESTACIO | DATA | MAGNITUD | X01H | X02H | X03H | X04H | X05H | X06H | X07H | X08H | X09H | X10H | X11H | X12H |
| 1 | 43123005 | 'Reus' | '09/03/2021' | 14 | 49 | 54 | 61 | 65 | 68 | 66 | 62 | 58 | NaN | 61 | 60 | N |
| 2 | 8307012 | 'Vilanova i la Ge... | '09/03/2021' | 6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2000 |
| 3 | 8305006 | 'Vilafraanca del P... | '09/03/2021' | 12 | 11 | 25 | 14 | 10 | 9 | 11 | 14 | 24 | 21 | 21 | 15 | |
| 4 | 8137001 | 'Montseny (La C... | '09/03/2021' | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | |
| 5 | 8125002 | 'Montcada i Rei... | '09/03/2021' | 14 | 9 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 7 | 4 | 9 | 10 | 32 | |
| 6 | 8121013 | 'Mataró' | '09/03/2021' | 12 | 17 | 13 | 9 | 7 | 7 | 11 | 17 | 36 | 47 | 34 | 20 | |
| 7 | 43014001 | 'Amposta' | '09/03/2021' | 14 | 47 | 61 | 62 | 63 | 66 | 65 | 65 | 62 | 59 | 62 | 65 | |
| 8 | 8112003 | 'Manlleu' | '09/03/2021' | 12 | 22 | 24 | 25 | 26 | 20 | 26 | 34 | 37 | 44 | 19 | 13 | |
| 9 | 43123005 | 'Reus' | '09/03/2021' | 12 | 5 | 7 | 6 | 4 | 4 | 6 | 9 | 21 | NaN | 10 | 12 | N |
| 10 | 8205002 | 'Sant Cugat del ... | '09/03/2021' | 7 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 15 | 16 | 10 | 4 | N |
| 11 | 43014001 | 'Amposta' | '09/03/2021' | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 12 | 8169009 | 'El Prat de Llobr... | '09/03/2021' | 30 | 6 | 6 | 6 | 6 | 0.6000 | 0.6000 | 0.6000 | 0.6000 | 0.6000 | 0.6000 | 0.6000 | 0.6000 |
| 13 | 8260010 | 'Santa Perpètua... | '09/03/2021' | 8 | 35 | 31 | 26 | 26 | 24 | 21 | 26 | 37 | 55 | 51 | 27 | |
| 14 | 43014001 | 'Amposta' | '09/03/2021' | 8 | 8 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 9 | 11 | 9 | 8 | |
| 15 | 43044003 | 'La Sénia' | '09/03/2021' | 14 | 68 | 69 | 69 | 69 | 70 | 72 | 71 | 71 | 70 | 70 | 71 | |
| 16 | 43123005 | 'Reus' | '09/03/2021' | 10 | 3 | 2 | 3 | 6 | 7 | 10 | 10 | 9 | NaN | 20 | 18 | N |
| 17 | 8194008 | 'Sant Adrià de B... | '09/03/2021' | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 6 | 7 | 11 | 7 | |
| 18 | 43047001 | 'Constantí' | '09/03/2021' | 12 | 7 | 6 | 9 | 6 | 10 | 9 | 26 | 83 | 85 | 44 | 23 | |
| 19 | 43047001 | 'Constantí' | '09/03/2021' | 14 | 46 | 41 | 30 | 26 | 27 | 31 | 24 | 8 | 12 | 35 | 45 | |
| 20 | 8169009 | 'El Prat de Llobr... | '09/03/2021' | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0.3000 | NaN | 0.3000 | 0.3000 | 0.3000 | 0.3000 | 0.2000 | 0.2000 |
| 21 | 8260010 | 'Santa Perpètua... | '09/03/2021' | 7 | 6 | 11 | 27 | 21 | 39 | 48 | 71 | 129 | 186 | 76 | 22 | |
| 22 | 8184006 | 'Rubí' | '09/03/2021' | 14 | 23 | 20 | 16 | 13 | 20 | 38 | 33 | 24 | 20 | 28 | 46 | |
| 23 | 43103001 | 'Perafort (Puind... | '09/03/2021' | 8 | 6 | 5 | 6 | 6 | 4 | 5 | 6 | 15 | 10 | 7 | 6 | |

Fuente: *Elaboración propia*

Debido a la gran extensión de datos de contaminantes se ha de realizar una selección, para lo cual se toma una selección de contaminantes (Tabla 1) en base a los datos analizados en el Capítulo 1, los estudios realizados en el tema globalmente y las regulaciones establecidas por la Unión Europea y España. Sin embargo, no todos los puntos de recogida de datos tienen en consideración la totalidad de las variables seleccionadas.

Tabla 1. Contaminantes seleccionados para aplicar el modelo.

| MAGNITUD | DESCRIPCION | MAGNITUD | FORMULA |
|----------|--|----------|--------------------------------|
| 1 | Dióxido de azufre | | SO ₂ |
| 6 | Monóxido de carbono | | CO |
| 7 | Monóxido de nitrógeno | | NO |
| 8 | Dióxido de nitrógeno | | NO ₂ |
| 9 | Partículas en suspensión < PM _{2,5} | | PM2_5 |
| 10 | Partículas en suspensión < PM ₁₀ | | PM10 |
| 12 | Óxidos de nitrógeno | | NOX |
| 14 | Ozono | | O ₃ |
| 20 | Tolueno | | C ₇ H ₈ |
| 22 | Carbón Negro | | BC |
| 30 | Benceno | | C ₆ H ₆ |
| 42 | Hidrocarburos totales | | HCT |
| 44 | Hidrocarburos no metánicos | | HMN |
| 431 | MetaParaXileno | | C ₈ H ₁₀ |

Fuente: *Elaboración propia*

Las modificaciones más importantes realizadas en este paso son la eliminación de variables innecesarias, el tratamiento de la fecha, la eliminación de mediciones de contaminantes no seleccionados y la asignación de magnitud según Tabla 1. La asignación de magnitud requiere previamente la comparación de los datos recopilados con los compuestos químicos a analizar.

Respecto a las variables innecesarias serán aquellas de ubicación adicionales que no se utilizarán en el modelo de regresión sino en la representación de datos. Para el tratamiento de fecha se utiliza la función *splitvars* que dividirá la fecha en día, mes y año. Para la asignación de magnitud, se carga la Tabla 1 y se comparan los compuestos químicos contenidos en esta con los datos. Para ello se obtiene, por medio de la función *contains*³,

³ La función *contains()* compara dos conjuntos de datos y extrae un vector de ceros y unos donde 1 indica que el conjunto de datos contiene los compuestos que constituyen el patrón introducido y 0 en caso contrario.

un vector de ceros y unos que servirá para eliminar las observaciones que corresponden a los ceros que serán aquellas que contienen contaminantes fuera de nuestra selección. Finalmente, la asignación de las magnitudes se realizará con un *innerjoin* que selecciona únicamente los datos que se contienen en ambas tablas.

Antes de estos cambios se contaba con un conjunto de datos de 3.644.737 de observaciones y 28 variables y al finalizar estos han sido reducidos a 2.078.462 observaciones y aumentado a 32 variables (Figura 11). Este proceso, por lo tanto, sirve para la obtención de un volumen de datos suficiente para el posterior análisis.

Figura 11. Tabla obtenida al realizar cambios usando como objetivo la Figura 10.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----------|---------------|---------|------|------|--------|------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| MAGNITUD | DESCRIPCIO | FORMULA | DIA | MES | ANO | CODIEOI | NOMESTACI | 01h | 02h | 03h | 04h | 05h | 06h | 07h |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12009007' | "ALMASS... | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12009301' | "ALMASS... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12028001' | "BENICASS... | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 7 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12032001' | "BURRIAN... | 9 | 10 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12040009' | "CASTELL... | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 7 | 8 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12040010' | "CASTELL... | 7 | 7 | 9 | 12 | 15 | 17 | 20 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12040015' | "CASTELL... | 5 | 7 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12046001' | "CIRAT_... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12080007' | "MORELLA... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12084003' | "ONDA_... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12093004' | "CORATXA... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12099001' | "SANT_JO... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12126003' | "LA_VALL... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12129001' | "VILAFRA... | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12140002' | "VIVER_... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '12141002' | "ZORITA_... | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '3009006' | "ALCOI_... | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '3014006' | "ALACANT... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '3014008' | "ALACANT... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '3014009' | "ALACANT... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '3065006' | "ELX__AG... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '3065007' | "ELX__PA... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '3066003' | "ELDA__L... | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '3099002' | "ORIHUEL... | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '46010001' | "ALBALAT... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '46017002' | "ALZIRA_... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '46028001' | "ALGAR_D... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '46077006' | "BUNOL_... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 'Dióxido d... | 'SO2' | '31' | '12' | '2020' | '46078004' | "BURJASS... | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Fuente: *Elaboración propia*

Finalmente, debe tenerse en cuenta que el código añade ciertas funciones para limpiar el conjunto de datos, eliminar los acentos de los nombres de las estaciones, seleccionar las fechas y ordenar las filas temporalmente para generar tablas por cada partícula y estación así como una tabla única por partícula calculando las medias de las estaciones.

3.1.4. Relación de los datos de las estaciones de control de contaminación y de clima

Como se ha mencionado en la selección de datos, para la representación posterior de los datos y análisis de los fenómenos meteorológicos, se necesita obtener la relación entre las

estaciones de clima de AEMet y las estaciones de control de la contaminación. Esta necesidad surge ya que las estaciones de calidad del aire no miden variables adicionales a las partículas contaminantes y, para relacionar el efecto de la contaminación respecto los fenómenos climáticos, es necesario conectar los datos medidos en la estación de clima más cercana.

Con este fin, deben relacionarse, lo cual se ha realizado en una hoja de Excel, las diferentes estaciones. Para ello, en las columnas se colocan las estaciones de clima y en las filas las estaciones de control de contaminación, y se calculan las distancias entre estas mediante la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{distancia} = R \cdot & \text{acos}(\text{cos}(\text{radianes}(90 - A)) * \text{cos}(\text{radianes}(90 - B))) \\ & + \text{seno}(\text{radianes}(90 - A)) * \text{seno}(\text{radianes}(90 - B)) \quad [2] \\ & * \text{cos}(\text{radianes}(C - D)) \end{aligned}$$

donde,

A: significa el valor de la latitud de la estación de control de contaminación en grados

B: significa el valor de la latitud de la estación de AEMet en grados

C: significa el valor de la longitud de la estación de control de contaminación en grados

D: significa el valor de la longitud de la estación de AEMet en grados

R: significa la medida del radio de la Tierra tomando como valor el radio equivolumen, con la distancia de 6371 km.

Esta fórmula aplica en Excel la ecuación de Haversine, usada globalmente para medir distancias por los sistemas GPS con la consideración de la curvatura terrestre (Castro, Sepúlveda, Medina, Guevara, y López-Bustamante, 2019). Se obtiene, tras su aplicación, una relación ejemplificada en la Tabla 2.

Tabla 2. Fragmento de la tabla de asociación de las estaciones de calidad del aire con estaciones de control del clima considerando la distancia.

| ESTACION_ | ESTACION_CLIMA |
|--------------------------|------------------------------|
| Agost | Alicante-Elche Aeropuerto |
| Alcoi - Verge Dels Liris | Xàtiva |
| Alacant-El Plá | Alicante-Elche Aeropuerto |
| Alacant-Florida-Babel | Alicante-Elche Aeropuerto |
| Alacant - Rabassa | Alicante-Elche Aeropuerto |
| Benidorm | Oliva |
| Elx-Agroalimentari | Pinoso |
| Elx-Parc De Bombers | Pinoso |
| Elda-Lacy | Pinoso |
| Orihuela | Pinoso |
| El Pinós | Pinoso |
| Torrevieja | Alicante-Elche Aeropuerto |
| L'alcora-Pm | Villafranca del Cid |
| Alcora | Villafranca del Cid |
| Almassora-C. P. Ochando | Villafranca del Cid |
| Benicassim | Villafranca del Cid |
| Burriana | Castellón-Almassora |
| Burriana Residencia | Castellón-Almassora |

Fuente: *Elaboración propia*

3.2. Análisis de los resultados de la regresión

Como se detalla en la metodología de este trabajo, el modelo de regresión lineal se aplicará a los distintos ficheros *csv* obtenidos tras en el tratamiento de datos. Este modelo matemático proporciona la relación entre los niveles de la partícula concreta y la contaminación en las estaciones en un año determinado.

La aplicación de los modelos de regresión lineal en RStudio se realiza mediante la función *lm*, dentro de la cual se pueden introducir distintos argumentos como se muestra en la formula siguiente extraída de RDocumentation (2020),

lm(formula, data, subset, weights, na.action, method = "qr", model = TRUE, x = FALSE, y = FALSE, qr = TRUE, singular.ok = TRUE, contrasts = NULL, offset, ...) [3]

En este caso solo se introduce en *formula* la ecuación aplicada y en *data* el conjunto de datos correspondiente. Esta función se introducirá como parte de un bucle for, por lo que se analizarán todos los datos divididos por partículas y año de toma de la medición.

Posteriormente, para obtener los datos a interpretar, se aplica la siguiente función

summary(modelo, se='boot') [4]

Esta función extrae un resumen de algunos elementos estadísticos que son analizados en el siguiente apartado y expuestos en la Tabla 3. Además, al introducir *'boot'*, se aplica el método de *bootstrapping* el cual, al estimar los errores y con el objetivo de minimizarlos, realiza un remuestreo.

Tras la aplicación del modelo lineal de regresión se obtienen tablas individuales por cada compuesto en las estaciones de control, así como la Tabla 3, con determinados valores estadísticos.

Tabla 3. Resultado de modelo lineal de regresión en Alacant El Pla sobre O₃.

| | Estimate | Std. Error | Pr(> t) |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| Temperatura media | 0,0225 | 0,0017 | 0,0000 |
| Velocidad media del viento | 0,0720 | 0,0052 | 0,0000 |
| Precipitaciones | 0,0019 | 0,0012 | 0,1178 |
| Fase 0 | 0,4546 | 0,0511 | 0,0000 |
| Fase 1 | 0,2965 | 0,0469 | 0,0000 |
| Sábado | 0,0517 | 0,0256 | 0,0437 |
| Domingo | 0,1200 | 0,0256 | 0,0000 |
| Festivos | 0,0503 | 0,0494 | 0,3080 |
| Intrusiones de polvo sahariano | 0,0410 | 0,0215 | 0,0573 |
| Combustión de Biomasa | -0,1165 | 0,0365 | 0,0014 |
| Sulfatos europeos | -0,0724 | 0,1395 | 0,6038 |

Fuente: *Elaboración propia*

En primer lugar, *estimate* muestra el valor porcentual de influencia de los distintos parámetros analizados respecto a los niveles de contaminación correspondiente al coeficiente del modelo de regresión. De esta forma, respecto a los niveles de O₃ en Alacant El Plá puede observarse que durante la Fase 0, el periodo de confinamiento con medidas estrictas, se dio un aumento del 45,46% de O₃ en la atmósfera al ser una variable dicotómica. Sin embargo, respecto a la temperatura media, el O₃ aumentó 2,25% por cada grado ° C que incrementaba, lo cual ocurre al tratarse de una variable continua. Además, *Std. Error* indica el error calculado en la aplicación del modelo de regresión lineal explicado en el Capítulo 2.

Con el objetivo de analizar la relevancia de las variables medidas, se obtiene el p valor a través del test t. Este valor muestra en qué grado es significativo el dato obtenido y únicamente se puede confiar en este resultado si es menor a 0,001. Así, la Tabla II muestra que las únicas variables significativas son la temperatura media, la velocidad media del viento, la fase cero, la fase uno y el factor del domingo.

Para la posterior interpretación de los resultados, se toma el grado de relevancia, el cual variará en los diferentes resultados del modelo de regresión y, únicamente será seleccionado el valor de la estimación de la variación en los niveles de los respectivos contaminantes si se cumple el test del p valor, el resto serán considerados como valores nulos a nivel interpretativo.

A partir de estos datos, se elabora a modo de resumen la Tabla 4 en la cual se muestran las medias de los coeficientes β_0 , según la denominación de RStudio, *estimate* de las diferentes variables según los contaminantes con más observaciones obtenidas. Estos valores muestran grandes variaciones en los niveles de concentración de los óxidos de nitrógeno principalmente respecto a los coeficientes β_1 .

Tabla 4. Resumen de resultados del modelo de regresión lineal

| Variable | O ₃ | NO ₂ | NO _x | SO ₂ | PM _{2,5} |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| <i>Coefficiente β_1</i> | | | | | |
| Precipitaciones | 0,0037 | -0,0132 | -0,014 | -0,0106 | -0,0108 |
| <i>en %</i> | 0,37% | -1,32% | -1,37% | -1,06% | -1,08% |
| Velocidad media del viento | 0,0920 | -0,1362 | -0,137 | -0,0279 | -0,1723 |
| <i>en %</i> | 9,20% | -13,62% | -13,72% | -2,79% | -17,23% |
| Temperatura media | 0,0226 | -0,0286 | -0,030 | -0,0056 | 0,0002 |
| <i>en %</i> | 2,26% | -2,86% | -2,97% | -0,56% | 0,02% |
| <i>Coefficiente β_2</i> | | | | | |
| Fase 0 | 0,3190 | -0,7602 | -0,658 | -0,1549 | -0,0092 |
| <i>en %</i> | 31,90% | -76,02% | -65,79% | -15,49% | -0,92% |
| Fase 1 | 0,2684 | -0,5696 | -0,548 | -0,0518 | -0,5272 |
| <i>en %</i> | 26,84% | -56,96% | -54,79% | -5,18% | -52,72% |
| Intrusión de polvo de sahara | 0,0805 | 0,0430 | 0,056 | -0,0457 | 0,3644 |
| <i>en %</i> | 8,05% | 4,30% | 5,57% | -4,57% | 36,44% |
| Sabado | 0,1112 | -0,2560 | -0,282 | -0,1348 | 0,0000 |
| <i>en %</i> | 11,12% | -25,60% | -28,21% | -13,48% | 0,00% |
| Domingo | 0,1303 | -0,4290 | -0,450 | -0,1250 | -0,1671 |
| <i>en %</i> | 13,03% | -42,90% | -45,03% | -12,50% | -16,71% |
| Festivo | 0,0000 | -0,4332 | -0,409 | -0,2733 | 0,0000 |
| <i>en %</i> | 0,00% | -43,32% | -40,87% | -27,33% | 0,00% |

Fuente: *Elaboración propia*

3.3. Interpretación y representación de resultados

Una vez han sido obtenidos los resultados del modelo de regresión, se procede a analizar las variaciones de los niveles de concentración por las limitaciones de la pandemia y sus posibles causas e implicaciones.

3.3.1. Efecto en la concentración de contaminantes

En primer lugar, se procede a analizar las partículas que más influencia en sus niveles muestran respecto a la contaminación atmosférica y con más mediciones tomadas por las estaciones de control, NO_x, NO₂ y O₃.

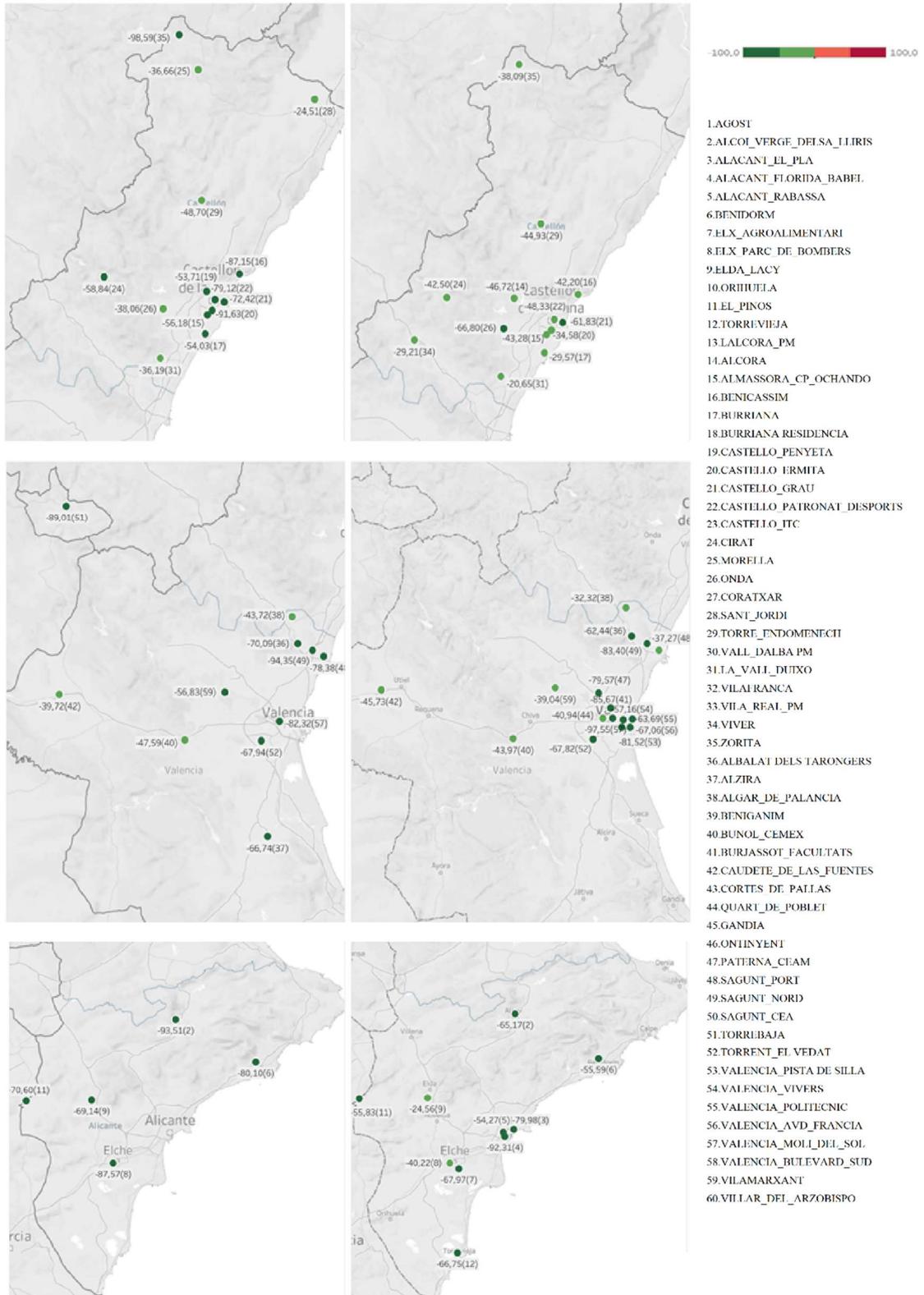
3.3.1.1. Variación niveles de NO_x y NO₂

Mientras que el ozono, como se detalla en el Capítulo 1, es un compuesto secundario y solo se emite a la atmósfera por la reacción con otros compuestos, los óxidos de nitrógeno se emiten por los vehículos, la combustión de carbón o gas natural y el tratamiento de metales principalmente, es decir, pueden ser considerados contaminantes primarios.

Por lo tanto, estos compuestos han sido de los más influenciados por la paralización de la actividad económica y la circulación de personas en aplicación a las medidas del Gobierno. Esto se debe a la reducción sobrevenida del tráfico a gran escala.

Los datos de la variación de los niveles de NO_x son recogidos en la Figura 12 que compara las diferentes etapas de las restricciones. A la derecha, se puede observar cómo en todos los puntos de control las variaciones son drásticas durante la fase de confinamiento estricto. El dato más significativo que se contempla en este caso es en la estación de medición de Zorita, al norte de la provincia de Castellón. En este punto se observa que la reducción de los niveles de ozono es del 98,59% en la fase 0 mientras que en la fase 1 con la aplicación de medidas más flexibles será de 38,19%. Con este ejemplo se demuestra cómo durante el periodo de implantación de medidas estrictas desde la declaración del Estado de Alarma, al darse una reducción drástica del tráfico, en algunas zonas de la Comunidad Valenciana los niveles de NO_x disminuyeron notablemente sus concentraciones dado que la circulación de vehículos constituye su fuente principal de emisión. Sin embargo, dado que los traslados se incrementaron de forma simultánea al levantamiento de las medidas, sin alcanzar aún los niveles previos a la pandemia, la reducción de la concentración de este contaminante fue menor.

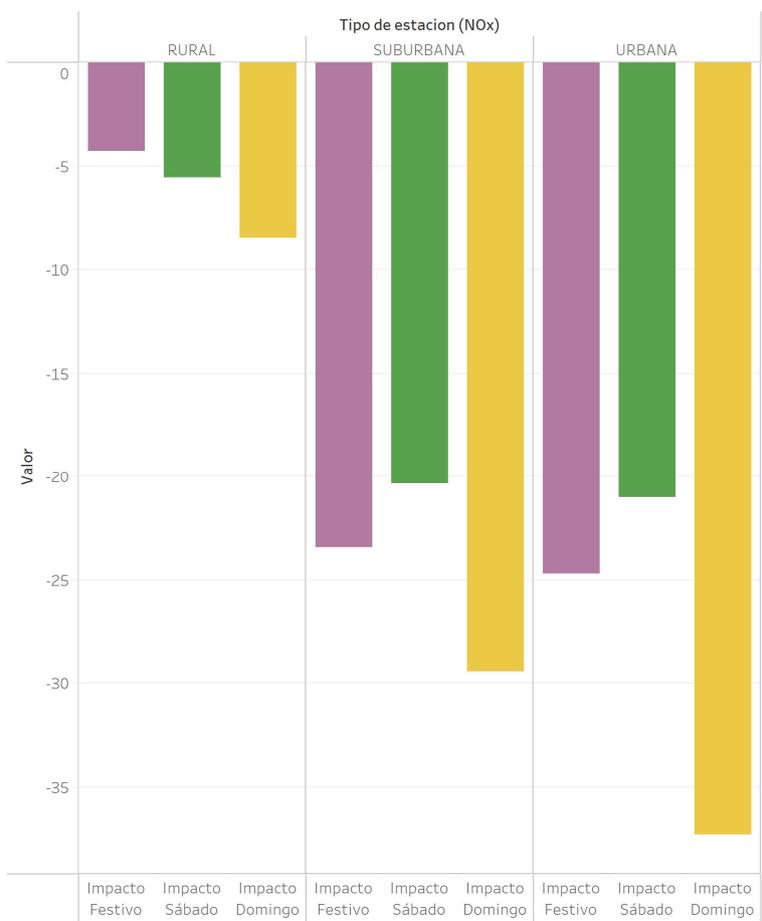
Figura 12. Comparación por fases del impacto de NO_x en %



Fuente: *Elaboración propia*

La conexión entre el tráfico y la emisión de este compuesto es corroborada con el modelo ya que en todas las estaciones se obtiene una gran variación. No obstante, debido a la paralización general, no existe tal conexión entre las zonas rurales y urbanas en ninguna de las fases por lo que no serán representadas. Sin embargo, sí se observa una gran variación entre las áreas urbanas y rurales en relación a los sábados, domingos y días festivos (Figura 13).

Figura 13. Impacto de los fines de semana y festivos en NO_x (%)



Fuente: *Elaboración propia*

En el gráfico de la Figura 13 se puede observar como las medidas de restricción de la circulación afectan principalmente a las áreas urbanas y suburbanas en comparación a las rurales que solo disminuyen entre un 4% y 8% en tales fechas frente a las previas, cuya reducción se sitúa en un rango entre 23% y 37%, aproximadamente.

La diferencia entre los días hábiles y los fines de semana y festivos se justifica, desde marzo de 2020, mediante las excepciones legales a las restricciones durante el Estado de

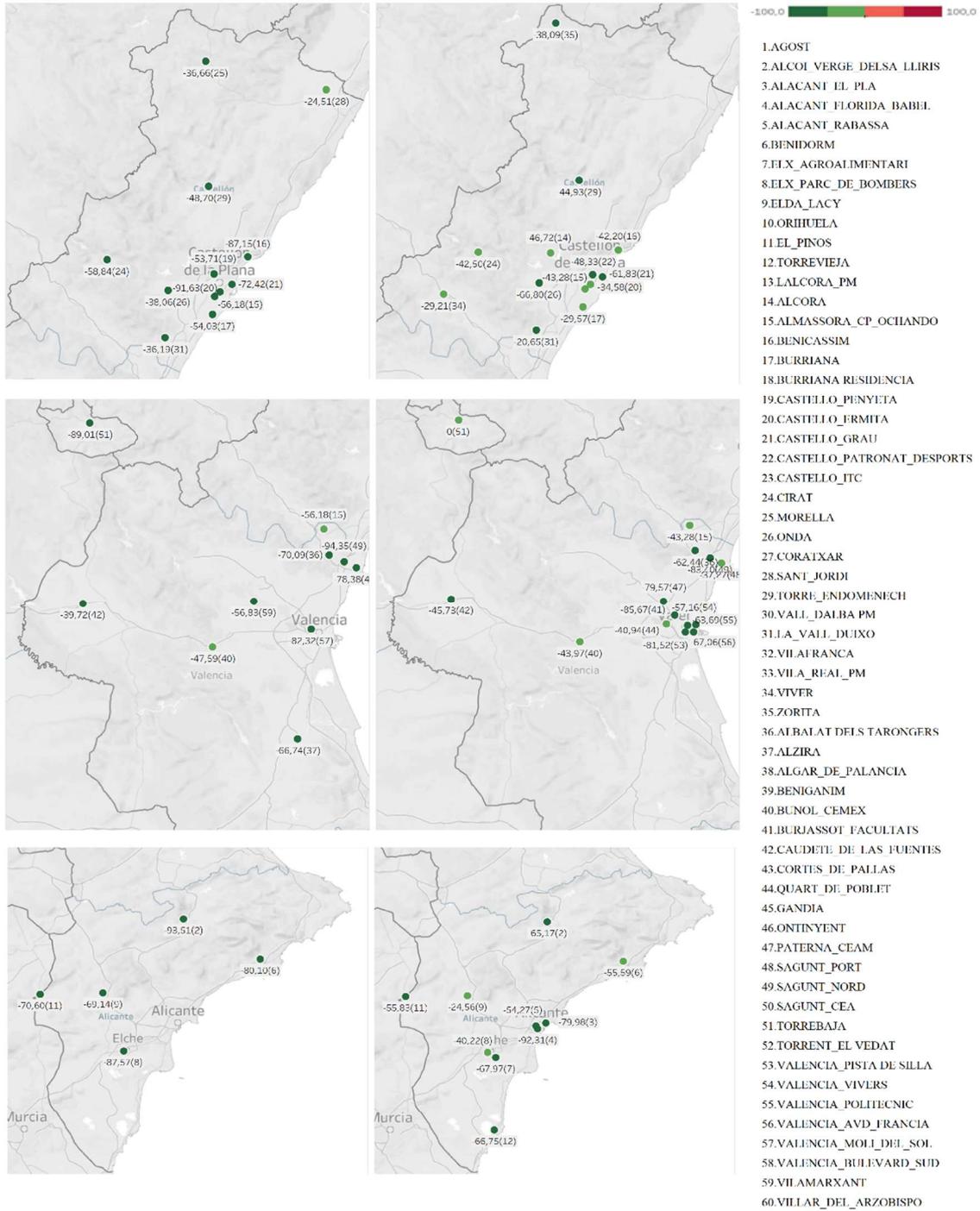
Alarma. A pesar de que entre semana el tráfico disminuía, existían una serie de excepciones por las que se permitía el desplazamiento de los ciudadanos. Estas exclusiones se recogieron en una lista delimitada de actividades esenciales así como la provisión de medicamentos y alimentos por medio del permiso de circulación para acceder a las farmacias y supermercados, dirigida tanto a los clientes como a los trabajadores, o algunos empleos considerados fundamentales donde pueden encuadrarse algunos puestos de mantenimiento de instalaciones o, transporte de mercancías. Sin embargo, en los fines de semana y festivos todos los desplazamientos fueron suprimidos ya que el mayor número de estos es destinado a la realización de actividades de ocio, lo cual afecta más cuanto mayor es el núcleo de población.

Adicionalmente, se identifica un pico anormal en el valor promedio del impacto de los domingos en las zonas urbanas, con una reducción entorno al 37%, lo que puede relacionarse al regreso de los fines de semana tanto de destinos vacacionales como de segundas residencias. Asimismo, el sábado en las zonas urbanas es el que menor impacto tiene, lo que puede deberse a que es considerado hábil hasta medio día para los servicios de mensajería que seguían funcionando con normalidad.

Por otro lado, se puede considerar influencia en los descensos de estas variables de los datos fuera del periodo de confinamiento. Mientras que en los días hábiles, los desplazamientos son muy numerosos, los fines de semana estos descienden.

Dentro de los óxidos de nitrógeno, se encuentra el NO_2 , por lo que los resultados serán similares como se muestra en la Figura 14.

Figura 14. Comparación por fases del impacto de NO₂ en %



Fuente: *Elaboración propia*

Al igual que el NO_x, el NO₂ proviene principalmente del tráfico, lo cual implica que los resultados son similares, lo que podemos apreciar en el caso de la estación de Alcoi-Verge Delsa Lliris con una reducción del 93,51%, cifra que coincide con la reducción del resto

de óxidos de nitrógeno. De esta forma, la suposición de la relación entre ambos compuestos y su tendencia descendente desde marzo de 2020 coincide.

3.3.1.2. Variación niveles de O₃

A pesar de la paralización de la actividad económica y el confinamiento de la población, se observa un notorio aumento en los niveles de ozono en la atmósfera de la Comunidad Valenciana. Este aumento ha sido menos significativo en la fase posterior donde las medidas comenzaron a reducirse.

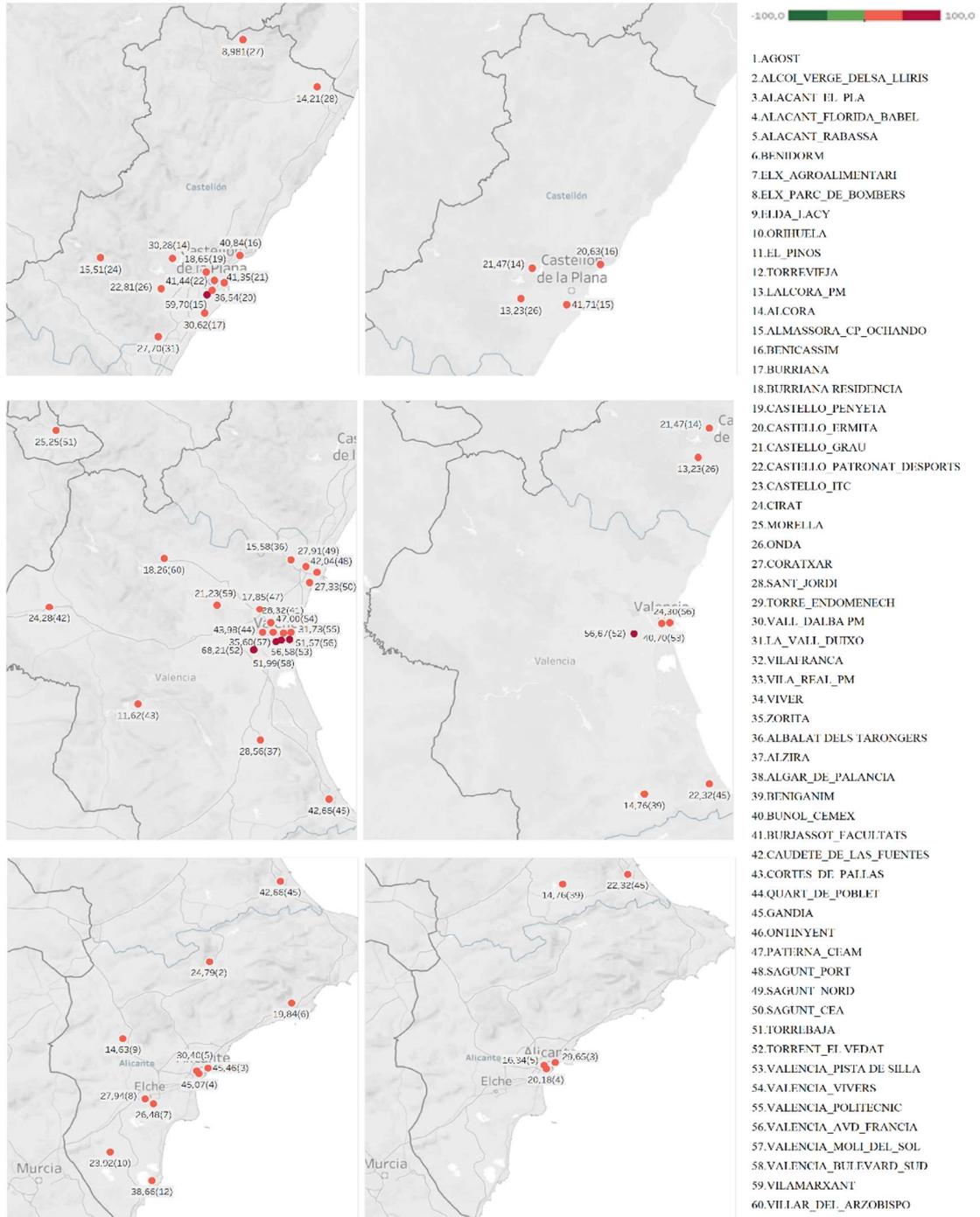
Como se indica en la introducción, las investigaciones de otros académicos acerca de la influencia de las medidas para la lucha contra el COVID-19, han obtenido resultados similares en otras zonas geográficas, lo que ha sido justificado por una mayor concentración de ozono en la atmósfera durante primavera o en las horas de luz solar (Collivignarelli et al., 2020). Estos resultados fueron igualmente obtenidos en distintos estudios en Europa, lo cual ha sido relacionado al cambio climático, debido a que la influencia de las altas temperaturas aumenta la concentración de ozono (Ordóñez, Garrido-Perez y García-Herrera, 2020). Sin embargo, esta tendencia debe ser mitigada en el presente estudio ya que entre los datos analizados se utiliza un periodo temporal más amplio para evitar factores estacionales.

No obstante, el aumento ha sido significativo, hallando hasta un 68,21% en Torrent el Vedat, lo cual, se establece una conexión con los efectos enumerados en el párrafo anterior los cuales están relacionados a las fuentes de formación del ozono. Como se menciona previamente, esta partícula es un contaminante secundario y procede de distintas reacciones fotoquímicas, por lo tanto, si bien los niveles de óxidos de nitrógeno han sido reducidos por el descenso del tráfico y paralización de la actividad, hay otros aspectos que han instigado su aumento. Este cambio tiene sentido ya que, debido a su carácter de contaminante secundario, *“el descenso en las concentraciones de ozono no es necesariamente proporcional a las correspondientes reducciones en las emisiones de precursores, pudiendo traducirse incluso en un aumento neto de los niveles de ozono”* (Mantilla et al., 2010), y, adicionalmente, puede darse la situación en la que las zonas más expuestas pueden estar alejadas de los focos de emisión (Ballester, 2005). Estos factores

hacen que, a pesar de evitarse factores externos, el ozono siga presentando aumentos significativos en algunos puntos de medición.

Por lo tanto, debe considerarse que las causas del anormal ascenso de O₃ durante la pandemia han sido principalmente el impacto de los rayos de luz solar sobre la superficie terrestre y el continuo uso de productos agroquímicos ya que, si bien ha sido reducido el tráfico, la producción agrícola y ganadera así como la industria no ha alterado su producción y todo esto ha sido afectado por su clasificación como contaminante secundario. Igualmente, a pesar de la ausencia de circulación de gran parte de la población, el uso de sistemas de calefacción no se ha visto alterado, incrementando estos factores y la producción de este contaminante.

Figura 15. Comparación por fases del impacto de O₃ en %



Fuente: *Elaboración propia*

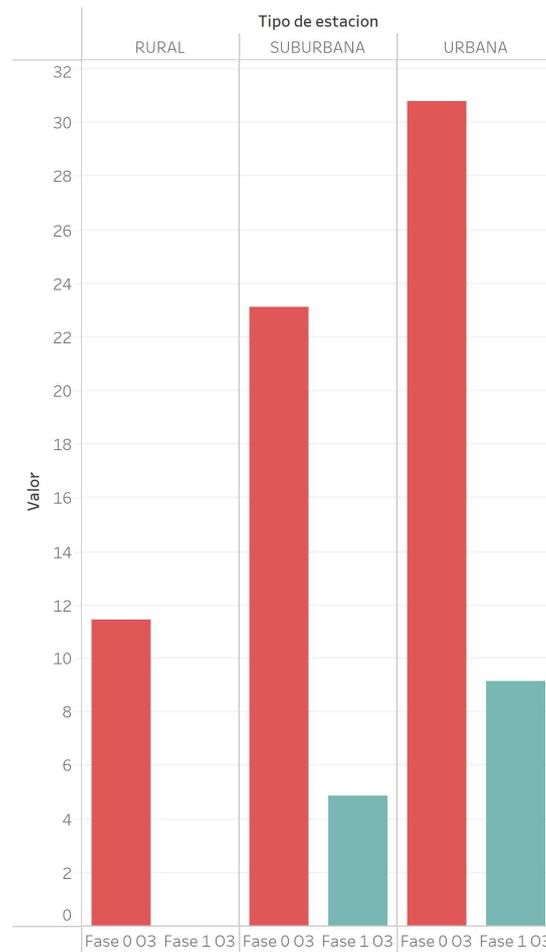
La Figura 15 representa en el mapa de la Comunidad Valenciana la alteración porcentual de este contaminante y se puede observar que en todos los puntos de medición aumenta aun en diferente proporción. Asimismo, en la comparación entre los dos periodos se

muestra que, al acabar la fase del confinamiento, los puntos significativos divergen y los aumentos son menores. Si bien resulta rara esta variación al aumentar la circulación en carretera y emisiones por tráfico, ha sido expuesto cómo los niveles de ozono no solo dependen del volumen de tráfico sino que además pueden ser alterados por su caracterización como contaminante secundario.

Otro aspecto que resulta relevante en la variación de niveles de ozono es la diferencia entre los tipos de estaciones según lo indicado por los datos recogidos ya que, si bien la cantidad de estaciones en zonas rurales es menor, es una cifra significativa ya que comprende alrededor del 21% de dichos puntos (Figura 4).

Al contrario que en los niveles de NO_x , se ha podido notar la variación de este aumento según el tipo de área donde se encuentran las estaciones de medición, lo cual se muestra en la Figura 16. Esta variación en la medición de NO_x no ha sido tan relevante como en el caso del O_3 . En el siguiente gráfico se representa de nuevo la diferencia entre las fases del confinamiento, como implementación a las áreas de ubicación de las estaciones.

Figura 16. Comparación por fases y tipo de estación del impacto de O₃ en %



Fuente: *Elaboración propia*

Mientras el promedio de las estaciones urbanas en la fase de confinamiento aumenta entorno a un 30%, en las zonas rurales la cifra es alrededor del 11%. Esta diferencia de casi un 20% es muy significativa y puede ser explicada por la concentración de la población en estas zonas, lo cual implica un mayor uso de los sistemas de calefacción y una mayor producción de contaminantes.

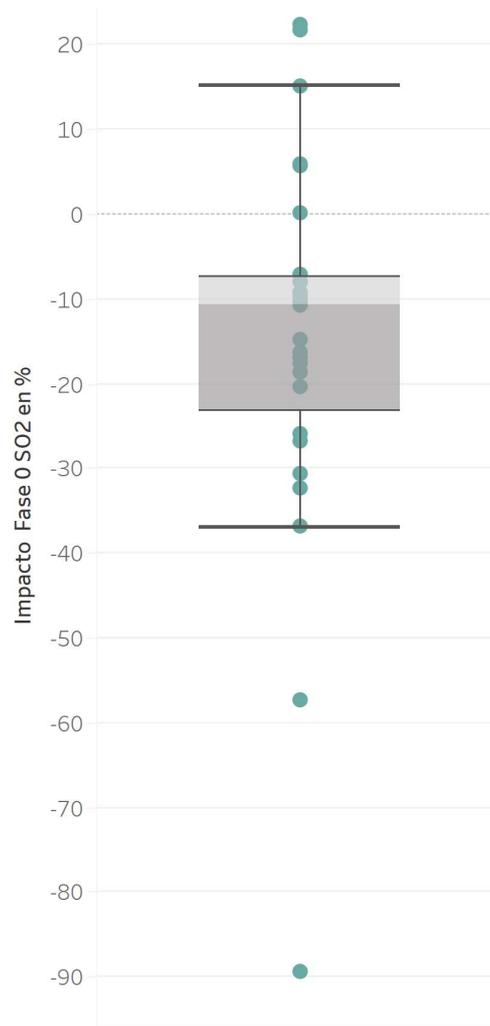
Durante el mes de abril en la Comunidad Valenciana en el año 2020, según indica la Agencia EFE se registraron temperaturas cálidas y un clima húmedo, lo cual implica la reducción del uso de estos sistemas y se produce una menor emisión de O₃ procedente de esta fuente. No obstante, el aumento de temperaturas aumenta las reacciones químicas que dan lugar a la producción de este contaminante, lo que podría justificar el aumento de su concentración.

3.3.1.3. Otras partículas relevantes

A pesar de que los datos recogidos al comienzo de la investigación incluyen observaciones de la medida de los niveles de concentración de ocho partículas contaminantes –O₃, NO_x, NO₂, NO, SO₂, C₆H₆, PM_{2,5} y PM₁₀–, lo que muestra la variedad de partículas analizadas, no todas las estaciones miden un rango tan amplio de datos. Generalmente las mediciones constan de datos de la concentración de O₃, NO_x, PM_{2,5} y SO₂. Mientras que las partículas más comunes y cuyos efectos son más significativos son los tres contaminantes ya analizados, deben destacarse algunos aspectos acerca del SO₂ y las PM_{2,5}.

En primer lugar, respecto al SO₂ únicamente es considerada la relevancia de su variación en la fase cero, ya que, de acuerdo con la Figura 17, hay una gran variación y, mientras que generalmente disminuyen los niveles, se distinguen cuatro casos donde aumenta ligeramente.

Figura 17. Variación de SO₂ en la fase cero.



Fuente: *Elaboración propia*

Estos efectos, al igual que en el caso del NO_x, se deben a las restricciones en la circulación ya que es un contaminante de origen antropogénico y se emite como resultado de la combustión de carburantes fósiles como petróleo (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020b).

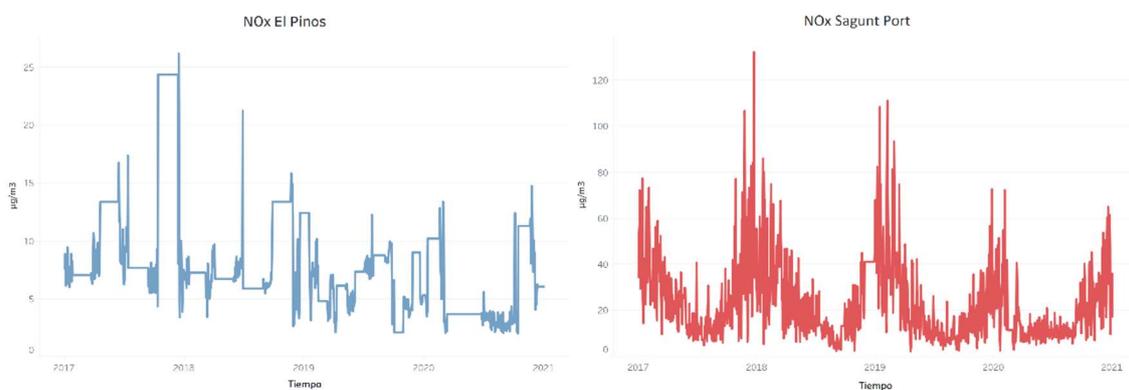
Sin embargo, las PM_{2,5} no son influidas en gran medida por la actividad humana ya que, dentro de los datos recogidos solo se ha encontrado muestra de variación como valor significativo en siete estaciones con valores entre -97,2% y 49,9%. La divergencia de los datos, que no dependen del tipo de estación ni de ninguna variable recogida, indica una muestra de aleatoriedad respecto a las variables estudiadas en este apartado. Por lo tanto,

se aprecia que no está tan influido por los elementos antropogénicos sino, como se indicará posteriormente por algunos fenómenos meteorológicos.

3.3.2. Tendencia temporal

En este apartado se analiza la evolución de NO_x como el contaminante que mayor reducción presenta en el periodo del confinamiento, la cual se representa en los gráficos de la Figura 18 a través de dos estaciones de características distintas, El Pinós se encuentra en un área rural mientras que Sagunt Port tiene la consideración de urbana.

Figura 18. Media diaria de los niveles de NO_x desde el 1 de enero de 2017 hasta el 31 de diciembre de 2020 en las estaciones de El Pinós (izquierda) y Sagunt Port (derecha)

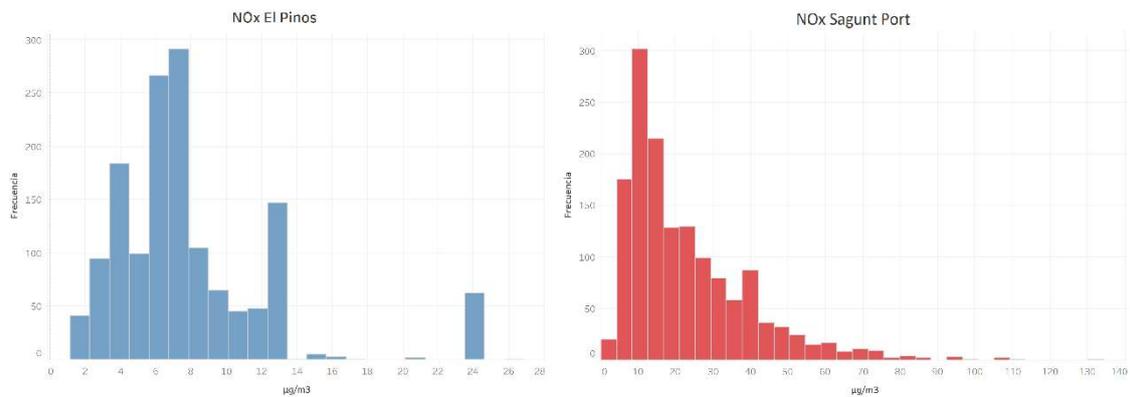


Fuente: *Elaboración propia*

En el caso de Sagunt Port, es apreciable una disminución considerable en el año 2020 dentro de la tendencia decreciente de la contaminación, la cual ha sido encontrada en las estaciones similares. Sin embargo, en El Pinós, mientras que en 2018 se observa un pico de contaminación, no se contempla tal reducción.

Adicionalmente, en la descripción del modelo de regresión, se afirma que los datos de contaminación están sesgados positivamente, lo que se refleja por la exponencial mayor recogida de datos en las cifras bajas. Esto se puede observar en los histogramas de ambas estaciones en la Figura XIX respecto a los niveles de concentración de los óxidos de nitrógeno y ha tenido especial repercusión en la construcción del modelo de regresión.

Figura 19. Histograma de las medias diarias de los niveles de NO_x entre 2017 y 2020 en las estaciones de El Pinos (izquierda) y Sagunt Port (derecha)



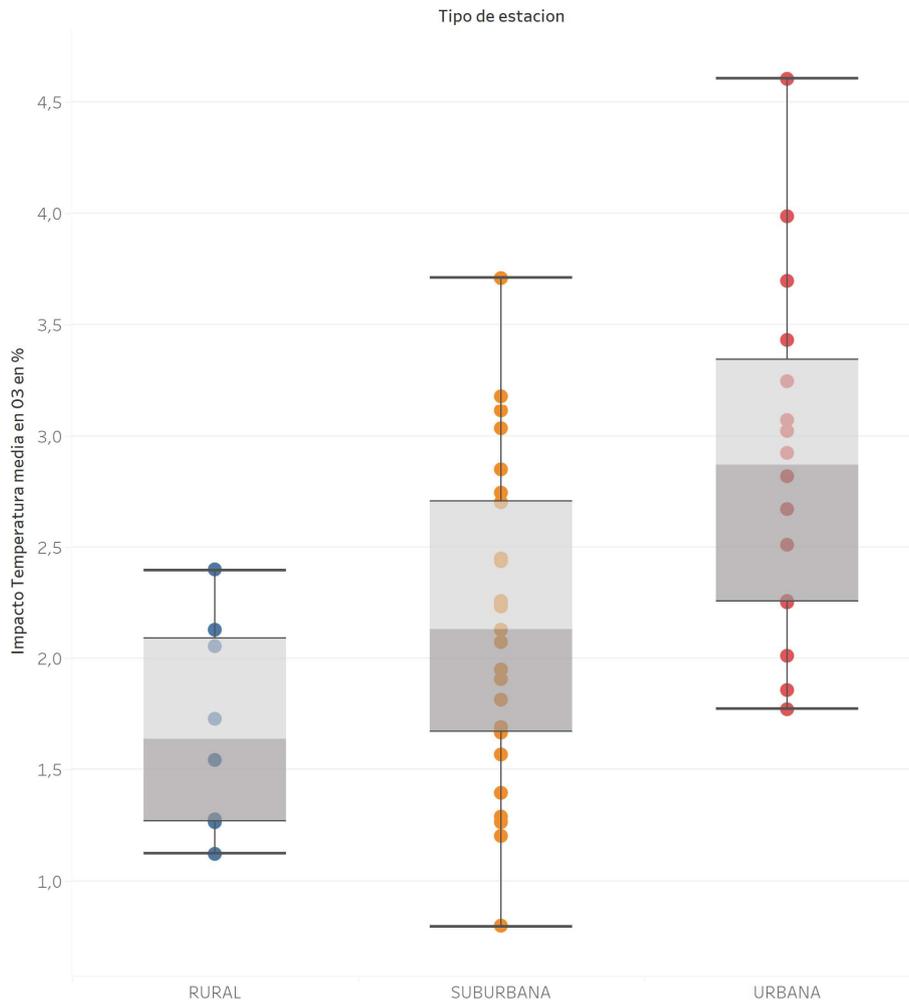
Fuente: *Elaboración propia*

No obstante, este sesgo se observa en el histograma de Sagunt Port de forma más marcada, lo que se observa en el gráfico por la tendencia descendente de las concentraciones de NO_x.

3.3.3. *Influencia de otros fenómenos*

En primer lugar, los fenómenos climáticos de los cuales se han recogido datos son la temperatura media, la precipitación y la velocidad media del tiempo. Como se menciona en apartados anteriores, la temperatura media tiene relevancia en la concentración de contaminantes en la atmósfera, influyendo así fundamentalmente en el aumento de ozono.

Figura 20. Distribución impacto temperatura media variación O₃ (%)

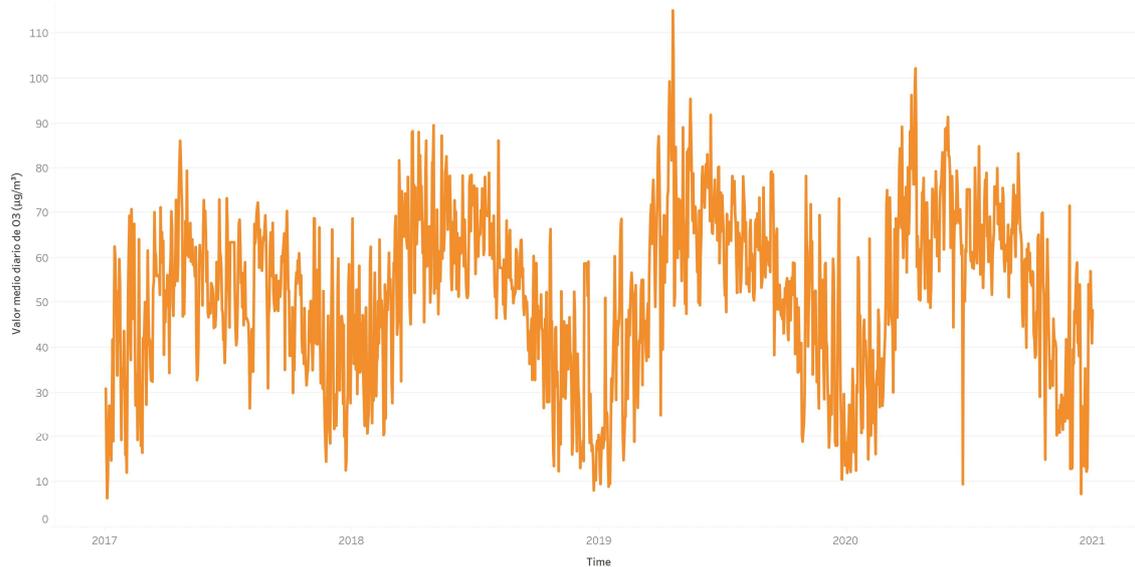


Fuente: *Elaboración propia*

En la Figura 20 se puede apreciar la influencia de la temperatura media en el aumento de contaminación, aumentando la concentración de O₃ hasta aproximadamente un 4,5%. A pesar de que estos valores no son tan elevados como en el caso de las medidas aplicadas por el COVID-19 tienen cierta relevancia ya que es un parámetro esencial en la valoración del cambio climático y su incremento es unitario. Adicionalmente, la Figura 20 nos muestra diferencias entre las áreas donde se encuentran las estaciones ya que, mientras que el aumento de un grado Celsius implica el aumento de ozono en las zonas rurales entre un 1% y un 2,4%, en las zonas urbanas este aumento varía desde 0,7% hasta 3,7% en zonas suburbanas y desde 1,7% hasta 4,5% en zonas urbanas. Estos incrementos porcentuales están directamente relacionados con el carácter secundario del O₃ y su formación a través de reacciones químicas por el calor y la luz solar e indica una tendencia

cíclica con valores más elevados durante los meses de verano, lo cual se evidencia en la Figura 21 a continuación.

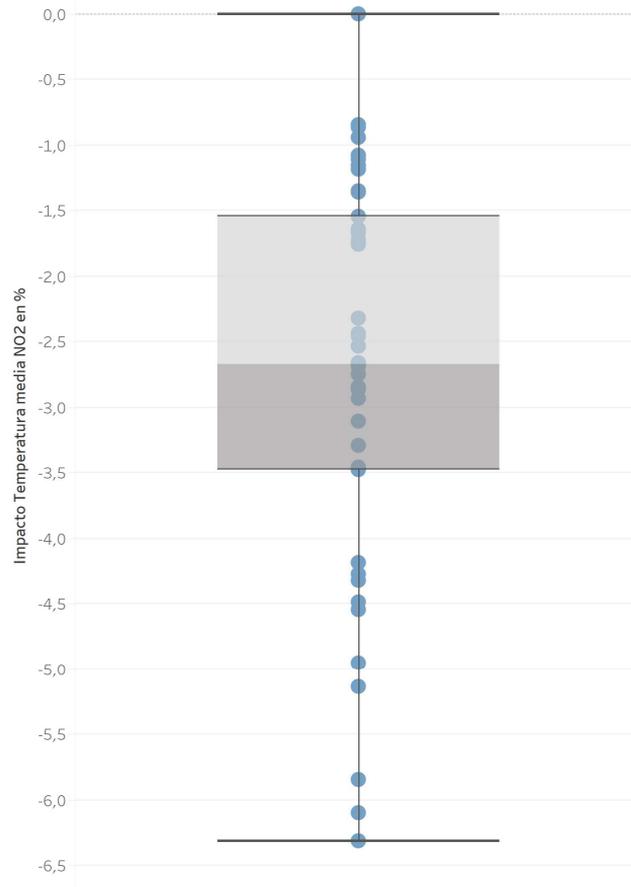
Figura 21. Evolución de los niveles de O₃ en la estación de Valencia - Avda. de Francia



Fuente: *Elaboración propia*

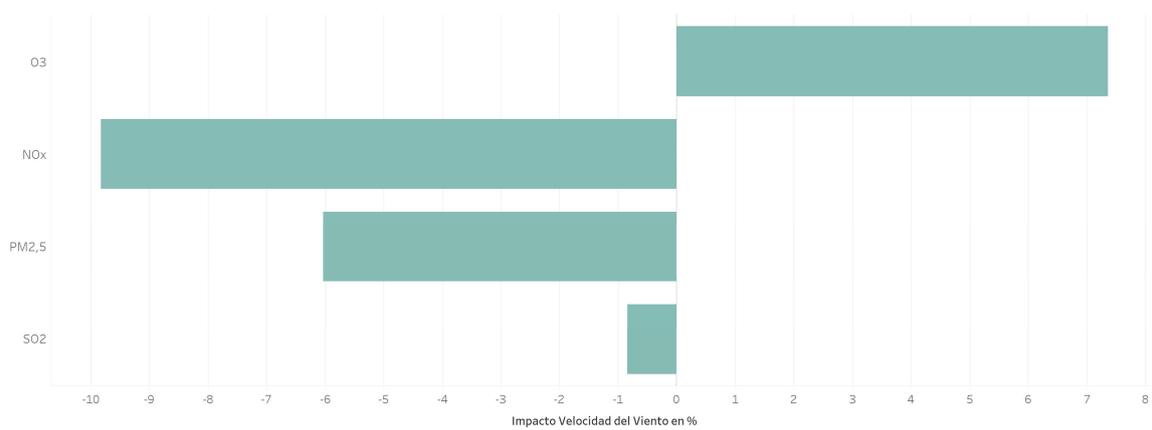
Respecto a los óxidos de nitrógeno, sería previsible que no tenga gran relevancia al tratarse de un contaminante primario no dependiente de la reacción química con la temperatura y la luz solar. No obstante, en la Figura 22 se muestra como el mayor impacto de la temperatura sobre los contaminantes alcanza una reducción del 6,4%, lo que indica una dependencia baja entre las variables mediante bajos coeficientes β . Sin embargo, se puede considerar que existe la influencia de otros factores como es el aumento de movilidad en carretera durante los meses de verano, ya que el tráfico es la mayor fuente de emisión de este.

Figura 22. Distribución impacto temperatura media variación NO₂ (%)



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 23. Impacto promedio de la velocidad del viento en % por partículas.



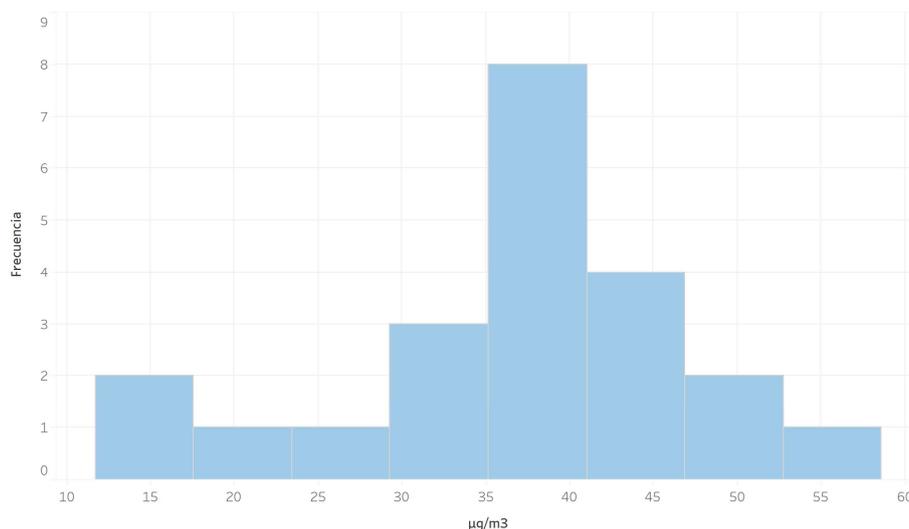
Fuente: *Elaboración propia*

La velocidad del viento también es importante ya que altera la concentración de contaminantes trasladando partículas de otras zonas. Esta influencia puede apreciarse que

es notoria en el caso del O₃, del NO_x y de las partículas PM_{2,5}, sin embargo, no afecta en gran medida a la concentración de dióxido de azufre. Por el contrario, las precipitaciones no aportan generalmente valores significativos y por lo tanto no es necesario tenerlas en consideración en este estudio.

Adicionalmente a los efectos de la temperatura media y de la velocidad del viento, se han recogido los datos de algunos episodios naturales, las intrusiones del polvo sahariano, los sulfatos europeos y la combustión de biomasa. En este caso, mientras se ha observado un aumento entre el 12% y el 58% de las partículas en suspensión de 2,5 µm respecto a los efectos del polvo sahariano, no se han detectado variaciones relevantes respecto a las otras variables por los que se omite su representación.

Figura 24. Histograma la variación de PM_{2,5} causada por el polvo sahariano.



Fuente: *Elaboración propia*

En la Figura 24 se representa la influencia de la intrusión del polvo sahariano frente a los niveles de las partículas PM_{2,5}, mostrando una relación consistente. Por lo tanto, su consideración es fundamental para la medición de la calidad del aire ya que el aumento de la concentración de estas partículas es sustancial y perjudica en gran medida nuestra salud. Esto se pudo observar el pasado 15 de marzo de 2021 por la intrusión de polvo sahariano en la Península por el temporal Celia, fecha en la que el índice ICA alcanzó niveles extremadamente desfavorables en la ciudad de Valencia, de forma similar al resto de España, procedentes de estas partículas principalmente (elperiòdic, 2022).

CONCLUSIONES

Tras el análisis realizado en este trabajo, se puede concluir que las medidas tomadas con motivo de la pandemia del COVID-19 ha repercutido en los niveles de concentración de las partículas analizadas, alterando así los niveles de las distintas partículas en suspensión. Por lo tanto, este estudio coincide con aquellos pertenecientes al estado de la cuestión, los cuales afirman dicha variación.

En la elaboración del estudio, se han utilizado los datos de la Comunidad Valenciana para el análisis, donde la variación de los contaminantes alcanza, en el confinamiento estricto del Estado de Alarma, una reducción del 98,59% respecto al NO_x y, al contrario, un aumento de hasta el 68,21% de la concentración de O₃ en las estaciones de control de esta comunidad autónoma. No obstante, las concentraciones de otras partículas no se han visto en tal medida modificados por las medidas gubernamentales.

A continuación, se hace la diferenciación en las conclusiones a las que se ha llegado tras el análisis de los distintos factores que han podido afectar a los cambios vividos durante el año 2020.

1. La reducción de la concentración de los óxidos de nitrógeno puede relacionarse con las medidas restrictivas de la libertad de circulación, dado que es el tráfico es el origen principal de estos compuestos.

Asimismo, aunque no se ha detectado una diferencia significativa entre las zonas rurales, suburbanas y urbanas durante los dos periodos analizados del primer Estado de Alarma, sí ha podido distinguirse tal diferencia en el efecto de los sábados, domingos y festivos. En estas fechas, las variaciones han sido menores en las zonas rurales con una reducción entre el 4% y el 8%, siendo el mayor efecto en las zonas urbanas durante los domingos, valor que disminuye en un 37% aproximadamente.

Este efecto ha sido atribuido a las excepciones de las medidas tomadas durante la pandemia. Debido a que las actividades esenciales no estaban restringidas, la población seguía usando, aunque en menor medida, los medios de transporte. Sin embargo, en los festivos, sábados y domingos todos los establecimientos están cerrados por lo que la circulación de vehículos es nula.

2. En el caso del ozono, se ha dado un notable aumento de forma anormal, que puede ser atribuido a su carácter como contaminante secundario. Si bien una de las fuentes del ozono es el tráfico, este también se emite por los sistemas de calefacción, por ejemplo, y como consecuencia de reacciones fotoquímicas con determinados compuestos.

En este caso, no obstante, sí se contempla divergencia según la localización de la estación, dándose un incremento notablemente mayor en las estaciones urbanas con un incremento medio de 31% durante la fase de confinamiento estricto mientras que en las zonas suburbanas el valor era de 23% y en las rurales de 12%.

3. A pesar de haberse observado otras partículas respecto a sus variaciones consideradas significativas, estas no presentan uniformidad en los resultados, teniendo valores de un espectro más amplio. Mientras que el dióxido de azufre presenta generalmente valores negativos, también hay casos de aumento de la concentración de tal contaminante, su variación en la fase 0 se encuentra entre un aumento superior al 20% y una reducción de casi el 90%. Además, las partículas PM_{2,5} no parecen estar afectadas por la reducción de la movilidad durante la pandemia.
4. En el análisis de la temporal del compuesto NO_x se ha observado un decrecimiento en los datos desde 2017 en la que, si bien el descenso en 2020 es mayor, se aprecia una tendencia descendente en los niveles de concentración. No obstante, esta reducción es marcada en la estación de Sagunt Port que se sitúa en una zona urbana, mientras que el El Pinós, de carácter rural, no puede apreciarse tal descenso en la concentración. Por lo tanto, aunque se da una tendencia descendente en ambas áreas, es más significativa en las zonas urbanas.
5. Se contemplan los efectos de otros fenómenos, episodios naturales y meteorológicos, entre los que destacan la velocidad del viento y la temperatura media, así como la intrusión del polvo sahariano. No se han encontrado datos significativos en otras variables.

En primer, lugar, el efecto de la temperatura media en la variación de O₃ casusa un aumento de la concentración hasta el 4,5% en las zonas urbanas mientras que

el 2,5% en poblaciones rurales, lo que no es un aumento significativo en comparación a los efectos causados por la pandemia.

En segundo lugar, la velocidad del viento afecta en gran medida a las concentraciones de O₃, NO_x y, aunque en menor medida, PM_{2,5}, lo cual es coherente dado que el traslado de partículas varía los niveles de concentración en los puntos de medición. Además, las intrusiones del polvo sahariano, por las mismas razones que la velocidad del viento causan un aumento en las partículas PM_{2,5}.

Por lo tanto, se corrobora la hipótesis enunciada parcialmente ya que, si bien las concentraciones de determinados compuestos, principalmente los óxidos de nitrógeno, disminuyen de manera notoria, no siempre las variaciones son significativas e, incluso, en el caso de ozono existe un aumento genérico de su concentración en los diferentes puntos de medición.

Estas afirmaciones coinciden con las establecidas en algunos estudios mencionados en la introducción. Generalmente, excepto en el caso del estudio de Zangari et al. (2020) donde no se aprecia una mejora significativa en la calidad del aire de Nueva York, en los resultados de las investigaciones se aprecia en los resultados una mejora de la calidad del aire, siendo esta más significativa en las ciudades de India donde los niveles de contaminación son atípicamente altos.

De esta forma, se considera igualmente una disminución en las concentraciones de los óxidos de nitrógeno, a pesar de los posibles efectos de otras variables y tendencias, y un aumento en los niveles de ozono, que, mientras que en nuestro estudio es notablemente más significativo respecto a otras zonas geográfica, coincide con los resultados de Sannino et al. a partir de datos tomados en España.

Estas conclusiones han sido alcanzadas como resultado de un largo proceso en el cual se han usado distintos programas. Durante el desarrollo de las distintas fases de la metodología, se han lidiado con distintos retos. En primer lugar, en el tratamiento de datos por medio de MATLAB versión R2021a, el gran volumen de datos manejados ha causado problemas en el procesamiento debido al tiempo empleado y a los errores de falta de memoria, siendo el más importante el encontrado al procesar el *stack*. En segundo lugar,

al aplicar el modelo de regresión mediante RStudio, se encontraron gran parte de estimaciones obtenidas de los β como no significativas.

Adicionalmente, para futuros estudios pueden contemplarse algunas mejoras donde se incluye el análisis de otras partículas, aunque, no obstante, la obtención de datos estaría dificultada. Para esto sería necesario aplicar un modelo matemático diferente ya que las variables utilizadas en este caso fueron consideradas no significativas.

Dentro de esta implementación podría estudiarse el efecto de los fenómenos relativos al efecto del mar, lo cual podría incluirse por una variable que dependa de la distancia de las estaciones a la costa. Incluso, dada la relevancia de la pandemia, podrían estudiarse los efectos sobre la salud implementando un análisis de las muertes relacionadas por los efectos de la contaminación. Sin embargo, este análisis podría verse dificultado por la gran variedad de influencias en el incremento del número de muertes durante la pandemia en todos los puntos geográficos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARTÍCULOS

- Abdel-Aty, M., Uddin, N., Pande, A., Abdalla, M. F., & Hsia, L. (2004). Predicting freeway crashes from loop detector data by matched case-control logistic regression. *Transportation Research Record*, 1897(1), 88-95.
- Amable Álvarez, I., Méndez Martínez, J., Bello Rodríguez, B. M., Benítez Fuentes, B., Escobar Blanco, L. M., & Zamora Monzón, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista médica electrónica*, 39(5), 1160-1170.
- Archer, C. L., Cervone, G., Golbazi, M., Al Fahel, N., & Hultquist, C. (2020). Changes in air quality and human mobility in the USA during the COVID-19 pandemic. *Bulletin of Atmospheric Science and Technology*, 1(3), 491-514.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79, 159-175.
- Castro Correa, J. A., Sepúlveda Mora, S. B., Medina Delgado, B., Guevara Ibarra, D., & López-Bustamante, O. (2019). Sistema de geolocalización de vehículos a través de la red GSM/GPRS y tecnología Arduino. *Revista EIA*, 16(31), 145-157.
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Bertanza, G., Pedrazzani, R., Ricciardi, P., & Miino, M. C. (2020). Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality?. *Science of the total environment*, 732, 139280.
- Gamboa, N. (1994). ¿ Qué es la contaminación atmosférica?. *Revista de Química*, 8(1), 45-54.
- Ming, W., Zhou, Z., Ai, H., Bi, H., & Zhong, Y. (2020). COVID-19 and air quality: Evidence from China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 56(10), 2422-2442.
- Mojica-Crespo, R., & Morales-Crespo, M. M. (2020). Pandemia COVID-19, la nueva emergencia sanitaria de preocupación internacional: una revisión. *Medicina de Familia. SEMERGEN*, 46, 65-77.

- Moral Peláez, I. (2016). Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística. *Revista Seden*, 14, 195-214.
- Novales, A. (2010). Análisis de regresión. *Universidad Complutense de Madrid: Madrid, Spain*, 116.
- Ordóñez, C., Garrido-Perez, J.M. & García-Herrera, R. (2020). Early spring near-surface ozone in Europe during the COVID-19 shutdown: Meteorological effects outweigh changes. *Science of the Total Environment*, 747, 141322.
- Pei, Z., Han, G., Ma, X., Su, H., & Gong, W. (2020). Response of major air pollutants to COVID-19 lockdowns in China. *Science of the Total Environment*, 743, 140879.
- Sannino, A., D'Emilio, M., Castellano, P., Amoruso, S., & Boselli, A. (2021). Analysis of air quality during the COVID-19 pandemic lockdown in Naples (Italy). *Aerosol and Air Quality Research*, 21(2), 1-15.
- Selvam, S., Muthukumar, P., Venkatramanan, S., Roy, P. D., Bharath, K. M., & Jesuraja, K. (2020). SARS-CoV-2 pandemic lockdown: Effects on air quality in the industrialized Gujarat state of India. *Science of the Total Environment*, 737, 140391.
- Serrano-Cumplido, A., Ortega, P. A. E., García, A. R., Quintana, V. O., Fragoso, A. S., Garcia, A. B., & Bayón, Á. M. (2020). COVID-19. La historia se repite y seguimos tropezando con la misma piedra. *Medicina de Familia. SEMERGEN*, 46, 48-54.
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization.
- Zangari, S., Hill, D. T., Charette, A. T., & Mirowsky, J. E. (2020). Air quality changes in New York City during the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*, 742, 140496.

2. LEGISLACIÓN Y JURISPRUDENCIA

Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad de aire y protección de la atmósfera. (2007).

Boletín Oficial del Estado, 275, de 16 de noviembre de 2007, 46962 a 46987.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-19744>

Decreto 161/2003, de 5 de septiembre, del Consell de la Generalitat, por el que se designa el organismo competente para la evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en la Comunidad Valenciana y se crea la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. (2003). *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, 4588, de 16 de septiembre de 2003, 23226 a 23228.

https://dogv.gva.es/datos/2003/09/16/pdf/2003_X10029.pdf

Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo, por el que se declara el estado de alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19. (2020).

Boletín Oficial del Estado, 67, de 14 de marzo de 2020, 25390 a 25400.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-3692>

Resolución de 2 de septiembre de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se modifica el Anexo de la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire. (2020).

Boletín Oficial del Estado, 242, de 10 de septiembre de 2020, 75835 a 75838.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-10426>

3. RECURSOS DE INTERNET

Dades Obertes Catalunya. (2021). *Qualitat de l'aire als punts de mesurament automàtics de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica*. Recuperado 1 de junio de 2021, de

<https://analisi.transparenciacatalunya.cat/es/Medi-Ambient/Qualitat-de-l-aire-als-punts-de-mesurament-autom-t/tasf-thgu>

Ecologistas en Acción. (2021). *La calidad del aire en el Estado español durante 2020*.

Recuperado 23 de marzo de <https://www.ecologistasenaccion.org/173915>

EFE. (2021). *Greenpeace: "45.000 muertes al año en España por la contaminación del aire"*. Agencia EFE. Recuperado 24 de marzo de 2022, de

<https://www.efe.com/efe/espana/sociedad/greenpeace-45-000-muertes-al-ano-en-espana-por-la-contaminacion-del-aire/10004-4533673>

elperiodic.com. (2022). *La calima del Sáhara en la Comunitat Valenciana: sanidad recomienda no estar en la calle*. Elperiòdic.com. Recuperado 24 de marzo de 2022, de https://www.elperiodic.com/calima-sahara-comunitat-valenciana-sanidad-recomienda-estar-calle_809943

ESA. (2013). *La contaminación atmosférica*. Recuperado 15 de enero de 2022, de https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_ES/SEMW8RLJ74G_0.html

Europa Press. (2021). *El 80% de los valencianos respiran aire con niveles de ozono "perjudiciales para la salud", según Ecologistas en Acción*. Europapress. Recuperado 24 de marzo de 2022, de <https://www.europapress.es/comunitat-valenciana/noticia-80-valencianos-respiran-aire-niveles-ozono-perjudiciales-salud-ecologistas-accion-20211116143620.html>

European Commission. (2022). Member States' notifications of the temporary reintroduction of border control at internal borders pursuant to Article 25 and 28 et seq. of the Schengen Borders Code. Recuperado 29 de enero de 2022, de https://ec.europa.eu/home-affairs/system/files/2022-01/Full%20list%20of%20notifications%2014012022_en.pdf

Fundación Aquae. (2021). *Contaminación del aire: causas y tipos*. Recuperado 15 de enero de 2022, de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/causas-y-tipos-de-la-contaminacion-del-aire/>

Generalitat Valenciana. (2019). *Calidad del aire - Generalitat Valenciana*. <https://agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/calidad-del-aire-3184>

Generalitat Valenciana. (2021). *Municipios de gran población*. <https://argos.gva.es/es/municipis-de-gran-poblacio>

Generalitat Valenciana. (2022). *Padrón municipal continuo: explotación estadística. 2021*. https://pegv.gva.es/es/inicio/-/asset_publisher/CWK0IEKbs79H/content/padr%25C3%25B3n-municipal-continuo-explotaci%25C3%25B3n-estad%25C3%25ADstica.-

[2021?_com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_CWK0IEKbs79H_assetEntryId=355639001&_com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_CWK0IEKbs79H_redirect=https%3A%2F%2Fpegv.gva.es%2Fes%2Finicio%3Fp_p_id%3Dcom_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_CWK0IEKbs79H%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26_com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_CWK0IEKbs79H_cur%3D0%26p_r_p_resetCur%3Dfalse%26_com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_CWK0IEKbs79H_assetEntryId%3D355639001](https://www.gva.es/inebaseweb/pdfDispatcher.do?td=154090&L=0)

INE. (1994). *Extensión superficial de las Comunidades Autónomas y Provincias, por zonas altimétricas*. Recuperado 12 de marzo de 2022, de <https://www.ine.es/inebaseweb/pdfDispatcher.do?td=154090&L=0>

La Moncloa. (2021). *Estado de Alarma*. Recuperado 15 de enero de 2022, de <https://www.lamoncloa.gob.es/covid-19/Paginas/estado-de-alarma.aspx>

Mantilla, E., Castell, N., Salvador, R., Azorín, C., Millán, M., Miró J.V. & Juan, L. (2010). *OZONO TROPOSFÉRICO Y CALIDAD DEL AIRE*. Recuperado 6 de marzo de 2022, de <https://agroambient.gva.es/documents/20549779/161512949/Ozono+troposf%C3%A9rico+y+calidad+del+aire.+Libro+completo/c0ae3c3e-5588-433f-a0b6-daf473a9c0a9;jsessionid=345ADF0AADE0BE24D00A75DE33DC9BB9>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2019). *Índice de Calidad del Aire*. Recuperado 16 de enero de 2022, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/ICA.aspx>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020a). *Datos de Calidad del Aire*. Recuperado 1 de mayo de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/datos/>

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020b). *EPISODIOS NATURALES DE PARTÍCULAS 2019*. Recuperado 1 de mayo de 2021, de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/episodiosnaturales2019_tcm30-509077.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020c). *Historico de la calidad del aire en España*. Recuperado 1 de mayo de 2022, de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/datos/Historico_calidad_aire.aspx
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2018). Evaluación de la calidad del aire en España. Recuperado 24 de marzo de 2022, de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadaireespana2018_tcm30-498764.pdf
- Naciones Unidas. (2007). La ONU alerta de que 150 especies se extinguen al día por culpa del hombre. El País. Recuperado 23 de mayo de 2022, de https://elpais.com/sociedad/2007/05/22/actualidad/1179784806_850215.html#:~:text=Producto%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico&text=Cada%20hora%2C%20tres%20especies%20desaparecen,en%20extintas%22%2C%20declar%C3%B3%20Djoghlaif.
- Naciones Unidas. (2019). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Desarrollo Sostenible. Recuperado 15 de enero de 2022, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Contaminación atmosférica*. Recuperado 15 de enero de 2022, de https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_2
- Organización Mundial de la Salud. (2021a). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Recuperado 15 de enero de 2022, de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- Organización Mundial de la Salud. (2021b). *Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire* [Comunicado de prensa]. <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- RDocumentation. (2020). *Lm: Fitting Linear Models*. Recuperado 6 de marzo de 2022, de <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/topics/lm>
- Redacción ConSalud. (2021). *La pandemia de Covid-19 destaca la urgente necesidad mundial de controlar la contaminación del aire*. *ConSalud*. Recuperado 15 de enero de 2022, de https://www.consalud.es/pacientes/especial-coronavirus/pandemia-covid-19-destaca-urgente-necesidad-mundial-controlar-contaminacion-aire_95173_102.html
- Rodríguez, H. (2022). *Animales en peligro de extinción*. National Geographic. Recuperada 24 de marzo de 2022, de https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/animales-peligro-extincion_12536
- Solís, A. (2021). *Los 10 países que más contaminan el planeta; ¿dónde se ubica México?*. *Forbes México*. Recuperado 11 de marzo de 2022, de <https://www.forbes.com.mx/economia-10-paises-contaminantes-mundo/>
- UBA. (2008). *Contaminación atmosférica*. Recuperado 14 de enero de 2022, de <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>