



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Estudio de la calidad del aire en la provincia de Valencia y
establecimiento de sus niveles de fondo

Presentado por

Albors Trabés, Andrea

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería Ambiental

Curso: 2020/2021

Fecha: 06/09/2021

Tutor: Daniel Aguado García

Cotutor: María Pachés Giner



RESUMEN

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA PROVINCIA DE VALENCIA Y ESTABLECIMIENTO DE SUS NIVELES DE FONDO

En este trabajo se evaluará la calidad del aire en la provincia de Valencia a partir de los datos presentes en la web de la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (RVVCCA) y se establecerán sus niveles de fondo. Para ello, tras conseguir los datos (del período 1994-2019) de la RVVCCA recogidos en la normativa vigente (Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia, y su transposición la ordenamiento jurídico Español mediante el R.D. 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire), se creará una base de datos donde se agruparán todas las variables y se diferenciarán por estación, año y tipo de contaminante. Posteriormente se analizarán los niveles de inmisión y sus respectivos valores límite, lo que permitirá conocer si se cumple de la legislación vigente y el índice de calidad del aire. Por otra parte, se estudiará la evolución temporal de los contaminantes, se analizará los principales contaminantes por zonas y tipos de estación, los contaminantes más frecuentes, la relación existente entre su localización y los niveles de concentración y el establecimiento de los niveles de fondo.

PALABRAS CLAVE: Calidad del aire, RVVCCA, niveles de fondo, valores límite.

ABSTRACT

STUDY OF AIR QUALITY IN THE PROVINCE OF VALENCIA AND ESTABLISHMENT OF ITS BACKGROUND LEVELS

In this work, the air quality in the province of Valencia will be evaluated from the data present on the website of the Atmospheric Pollution Surveillance and Control Network (RVVCCA) and its background levels will be established. For this, after obtaining the data (from the period 1994-2019) of the RVVCCA collected in the current regulations (Directive 2008/50 / CE, relative to ambient air quality and a cleaner atmosphere, and its transposition into the Spanish legal system through RD 102/2011, of January 28, relative to the improvement of air quality) a database will be created where all the variables will be grouped and will be differentiated by season, year, and type of pollutant. Subsequently, the immission levels and their respective limit values will be analyzed, which will allow to know if the current legislation and the air quality index are being complied with. On the other hand, the temporal evolution of pollutants will be studied, the main pollutants will be analyzed by zones and types of seasons, the most frequent pollutants, the relationship between their location and concentration levels and the establishment of background levels.

KEY WORDS: Air quality, RVVCCA, background levels, limit values

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	La atmósfera	7
1.2	La contaminación atmosférica.....	8
1.2.1	Tipos de contaminantes.....	8
1.2.2	Dispersión de los contaminantes.....	10
1.2.3	Niveles de fondo	11
1.3	Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica....	12
1.4	Contaminación atmosférica en la provincia de Valencia.....	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo general.....	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	MATERIAL Y MÉTODOS	15
3.1	Metodología	15
3.2	Datos de contaminantes.....	16
3.3	Datos meteorológicos	16
3.4	Valores límite de inmisión	17
3.5	Estaciones de medición	21
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1	Cumplimiento de los límites	26
4.1.1	Dióxido de azufre (SO ₂)	26
4.1.2	Monóxido de carbono (CO).....	27
4.1.3	Dióxido de nitrógeno (NO ₂) y óxidos de nitrógeno (NO _x).....	27
4.1.4	Ozono (O ₃).....	29
4.1.5	Material Particulado	29
4.1.6	Benceno (C ₆ H ₆).....	30
4.2	Niveles con mayor contaminación.....	30
4.2.1	Dióxido de azufre (SO ₂)	30
4.2.2	Monóxido de carbono (CO).....	30
4.2.3	Dióxido de nitrógeno (NO ₂) y óxidos de nitrógeno (NO _x).....	31
4.2.4	Ozono (O ₃).....	32
4.2.5	Material Particulado	33
4.3	Niveles según tipo de estación.....	35
4.3.1	Dióxido de azufre (SO ₂)	35
4.3.2	Monóxido de carbono (CO).....	35
4.3.3	Dióxido de nitrógeno (NO ₂) y óxidos de nitrógeno (NO _x).....	36
4.3.4	Ozono (O ₃).....	38
4.3.5	Material Particulado	38

4.3.6 Metales e hidrocarburos.....	40
4.4 Niveles de fondo	44
4.4.1 Algar de Palancia.....	44
4.4.2 Villar del Arzobispo	45
4.5 Relación de contaminantes con la localización	49
4.5.1 Dióxido de azufre (SO ₂)	49
4.5.2 Monóxido de carbono (CO)	50
4.5.3 Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	51
4.5.4 Óxidos de nitrógeno (NO _x)	52
4.5.5 Ozono (O ₃).....	53
4.5.6 Material Particulado	54
4.6 Relación entre contaminantes.....	55
4.6.1 Estación urbana: <i>Valencia – Aragón</i>	56
4.6.2 Estación rural: <i>Villar del Arzobispo</i>	57
4.7 Relación de los contaminantes con las variables meteorológicas	58
4.7.1 Estación rural: Villar del Arzobispo.....	59
4.7.2 Estación costera: Sagunt Port.....	59
4.7.3 Estación interior pero urbana: Ontinyent 2	60
5 CONCLUSIONES.....	61
LISTA DE FIGURAS	63
LISTA DE TABLAS.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	67

1 INTRODUCCIÓN

1.1 La atmósfera

La atmósfera se define como la masa de aire que envuelve la Tierra, con un espesor aproximado de unos 200 km. Sus principales funciones son las de proporcionar a los seres vivos los gases necesarios para la vida, proteger frente a la radiación solar, distribuir la energía solar y regular la temperatura del planeta.

A nivel químico la composición de la atmósfera no es uniforme. Esta presenta gases en cantidades fijas en el aire (Tabla 1, izquierda) como son el nitrógeno, el oxígeno y los gases nobles y gases en cantidades variables (Tabla 1, derecha) como el dióxido de carbono y el vapor de agua, así como diversos contaminantes. La cantidad y presencia de estos gases en la atmósfera depende de la presión y temperatura existente a diferentes alturas [1].

COMPONENTE	% VOLUMEN	COMPONENTE	% VOLUMEN
Nitrógeno (N ₂)	78,1	Vapor de agua (H ₂ O)	0 - 7
Oxígeno (O ₂)	20,9	Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,035
Argón (Ar)	0,9	Metano (CH ₄)	1,5 · 10 ⁻⁴
Neón (Ne)	18,2 · 10 ⁻⁴	Monóxido de Carbono (CO)	0,1 · 10 ⁻⁴
Helio (He)	5,2 · 10 ⁻⁴	Ozono (O ₃)	0,2 · 10 ⁻⁵
Kriptón (Kr)	1,1 · 10 ⁻⁴	Amoníaco (NH ₃)	0,1 · 10 ⁻⁵
Hidrógeno (H ₂)	5,0 · 10 ⁻⁵	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0,1 · 10 ⁻⁶
Óxido nitroso (N ₂ O)	3,0 · 10 ⁻⁵		
Xenón (Xe)	0,9 · 10 ⁻⁵		

Tabla 1. Gases encontrados en cantidades fijas y variables en el aire [1].

La atmósfera también contiene sólidos y líquidos introducidos por la actividad humana o producidos a partir de reacciones químicas que se desarrollan en la atmósfera.

1.2 La contaminación atmosférica

Se entiende por contaminación atmosférica “la presencia en el aire de materias o formas de energía en concentraciones elevadas sobre su nivel ambiental normal como para que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (animales, plantas, materiales, etc.)” [2].

1.2.1 Tipos de contaminantes

Existen diferentes tipos de contaminantes según su origen: los contaminantes primarios y los secundarios.

- **Contaminantes Primarios:** son las sustancias emitidas directamente desde un foco identificable (chimeneas, quema de combustibles fósiles, procesos industriales, etc.). Los responsables de la mayor parte de la contaminación atmosférica son los siguientes [2, 3, 4, 5].
 - Partículas. Pequeños sólidos o líquidos que se dispersan en el aire. Presentan gran variedad de tamaño, densidad, forma y composición. Naturalmente provienen de tormentas de arena, cenizas volcánicas, incendios forestales, etc., y a nivel antropológico por el uso de combustibles fósiles, la actividad industrial, etc. Se pueden diferenciar dos tipos: las partículas en suspensión, con un tamaño inferior a 10 μm que permanecen mayor tiempo en la atmósfera y las partículas sedimentables, las cuales tienen una alta velocidad de sedimentación.
 - Compuestos de Azufre. El dióxido de azufre (SO_2) es el más abundante y perjudicial de los óxidos de azufre. Es un gas incoloro, muy soluble, corrosivo e irritante. Se genera en la combustión de carbón y petróleo, en el refinado del petróleo y en algunos procesos de la metalurgia. El SO_3 se forma por oxidación catalítica del SO_2 , en este caso se considera contaminante secundario y se verá en su apartado correspondiente.
 - Compuestos Inorgánicos de Carbono. El CO es un gas incoloro, inodoro, insípido, inflamable, tóxico y el contaminante más abundante de referencia. Se produce a partir de la combustión incompleta de los combustibles carbonosos, la oxidación del metano y degradación de la clorofila. Presenta efectos nocivos en el aparato respiratorio y circulatorio. Precursor del CO_2 y O_3 . Por otra parte, el CO_2 es un gas incoloro e inodoro, no tóxico y soluble en agua. Formación a partir de la combustión de combustible fósiles y biomasa, respiración celular de los seres vivos y en algunas fermentaciones.

- Compuestos de Nitrógeno. En este tipo de compuestos se encuentran los óxidos de nitrógeno (NO_x) formados por el óxido nítrico (NO), gas incoloro, inodoro, ligeramente tóxico y no inflamable, y por el dióxido de nitrógeno (NO_2), gas pardo amarillento, olor asfixiante y más tóxico que el anterior. El origen procede generalmente de los combustibles, motores, vehículos, industria química, etc. Algunos efectos adversos son alteraciones en el sistema respiratorio, corrosiones en estructuras metálicas, etc.
- Hidrocarburos. Dentro de estos compuestos, el metano (CH_4) es el más abundante. Este se genera en la descomposición anaerobia de la materia orgánica, ganadería, fugas de biogás, refinería de petróleo, actividades mineras de carbón y vehículos. Este gas es un precursor de contaminantes secundarios, generando ozono troposférico mediante procesos de oxidación fotoquímica.
- Compuestos halogenados y sus derivados. Son sustancias que contienen cloro y flúor de los cuales destacan el Cl_2 , muy tóxico; ácido clorhídrico (HCl), olor fuerte e irritante; clorofluorocarbonos (CFCs) y ácido fluorhídrico (HF), gas incoloro, olor irritante y muy corrosivo. Algunas fuentes de emisión son erupciones volcánicas e industria química y vehículos de motor.
- Metales pesados. Elementos de masa atómica y densidad elevadas presentes en la atmósfera como partículas en pequeñas concentraciones. Son muy tóxicas y se degradan muy lentamente, por lo que son muy peligrosas. Afectan al sistema circulatorio, respiratorio y nervioso y son considerados cancerígenos. Se originan en la combustión de combustibles fósiles, industria metalúrgica, etc. Destacan el mercurio (Hg) y el plomo (Pb).
- Ruidos y vibraciones. Se definen como “todo sonido molesto e intempestivo que producen efectos fisiológicos y psicológicos en las personas”. Presentan su origen en las actividades humanas que producen vibraciones y ruidos. Algunos de sus efectos son la pérdida de audición, dolor de cabeza, pérdida de apetito, estrés, etc.
- Radiaciones ionizantes. Serie de partículas u ondas electromagnéticas que producen cambios en la materia que atraviesan al ionizar sus átomos. Son los rayos X y γ (gamma), los más peligrosos debido a sus alto poder de penetración, y las partículas α y β . Estas radiaciones afectan la composición del ADN provocando mutaciones.

- **Contaminantes Secundarios:** se producen como consecuencia de transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas de los contaminantes primarios de la atmósfera [2, 3, 4, 5].
 - Anhídrido sulfúrico (SO₃) y ácido sulfúrico (H₂SO₄). El SO₃ es un gas incoloro que se forma a partir de la oxidación catalítica del SO₂. El SO₃ puede reaccionar con el agua formando el H₂SO₄. Ambos contaminantes están presentes en la lluvia ácida.
 - Nitrato (NO₃). El NO₃ se forma a partir de la oxidación del dióxido de nitrógeno (NO₂) por el O₃.
 - Peroxiacetilnitrato (PAN). Este contaminante secundario se forma a partir de una reacción fotoquímica de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en presencia de luz.
 - Ozono (O₃). Es un gas azulado, altamente oxidante y tóxico a elevadas concentraciones. Se origina a partir de reacciones químicas en la troposfera. De forma resumida, el O₃ se genera en dos pasos. Primero la luz UV rompe la molécula de oxígeno (O₂) dando como resultado dos átomos de oxígeno (O). A continuación, los átomos de O reaccionan con una molécula de O₂ formando O₃ [6]. Por otro lado, el NO₂, debido a la acción de la luz UV, se fragmenta en óxido de nitrógeno (NO) y oxígeno atómico (O). El O, a su vez, reacciona con el O₂ formando O₃.

1.2.2 Dispersión de los contaminantes

Se denomina “dispersión atmosférica” al proceso que transporta y mezcla los contaminantes en el aire. Existe un ciclo al que se le puede denominar ciclo de emisión – deposición: en primer lugar, los contaminantes emitidos (primarios) se mezclan en los primeros kilómetros de la troposfera, donde se mueven libremente y se distribuyen favoreciendo las reacciones químicas. En segundo lugar, ocurren los procesos químicos y fotoquímicos a partir de los contaminantes primarios formando los secundarios. Por último, los contaminantes regresan y se depositan en la superficie terrestre, incorporándose a los océanos y el suelo. Este retorno de los contaminantes a la superficie puede suceder por deposición húmeda (lluvia, nieve, niebla o rocío) o por deposición seca (fenómenos gravitacionales y de adsorción) [7].

Generalmente se considera que es en las áreas continentales donde se encuentran los focos emisores, mientras que los océanos son los principales depósitos debido a su extensión.

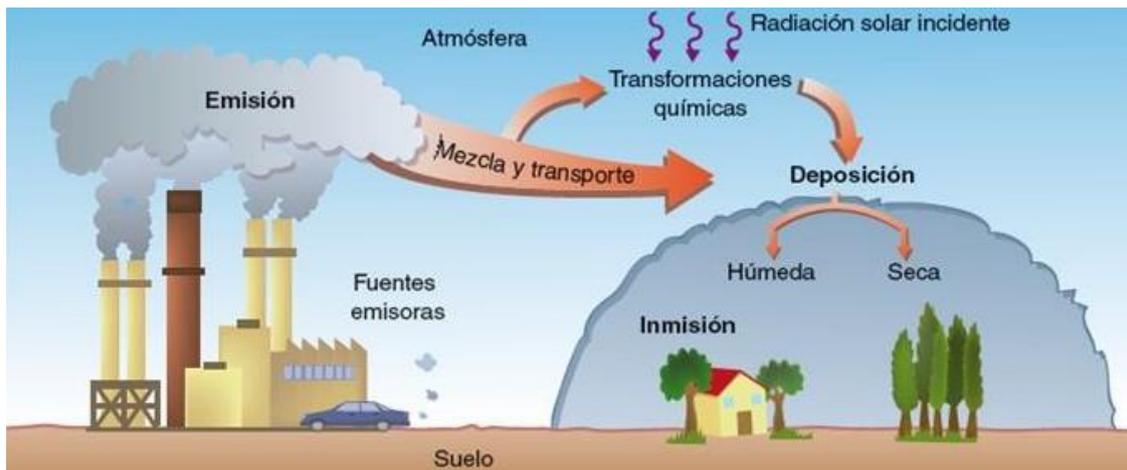


Figura 1. Dispersión de los contaminantes en la atmósfera [3].

La dispersión de los contaminantes está influenciada por diferentes factores que afectan a su dinámica: según las características de las emisiones (naturaleza del contaminante, concentración, temperatura, velocidad y altura de emisión), las condiciones atmosféricas (temperatura del aire, dirección y velocidad del viento, precipitaciones e insolación), la geografía y topografía del lugar, presencia de masas vegetales y presencia de núcleos urbanos.

1.2.3 Niveles de fondo

Se puede definir como valores o niveles de fondo (background values) la “concentración de sustancias peligrosas, presentes de forma sistemática en el medio natural que no han sido influenciadas por actividades humanas localizadas” [8]. Conceptualmente, los valores de fondo caracterizan la situación real del aire “natural” de una región en el momento de su estudio.

Existen estudios realizados en el mediterráneo que utilizan diferentes métodos para determinar los valores de fondo de una región. En uno de ellos [9] se utiliza una metodología denominada BaDS, Selección de Datos de Antecedentes, el cual se basa en el supuesto de que las observaciones de fondo son caracterizadas por una baja variabilidad temporal ya que estas no deberían verse afectados por procesos de emisiones o remoción. BaDS se aplicó a series de tiempo de medias de valores de CO₂ por hora. En otro estudio [10] se centran en tres hidrofluorocarbonos, midiendo sus concentraciones a lo largo del periodo de 2001 a 2009, presentando distribuciones gaussianas en todos ellos.

En el presente trabajo se pretende establecer los niveles de fondo en la provincia de Valencia a partir de los datos medidos por las estaciones rurales, los cuales nos proporcionan las concentraciones diarias de cada contaminante.

Los contaminantes que se utilizan para determinar los niveles de fondo son los primarios, los secundarios no se tienen en cuenta, como el ozono y los óxidos de nitrógeno, ya que se forman principalmente como consecuencia de la actividad humana. Por lo tanto, conociendo la definición de los niveles de fondo, deben ser los contaminantes que se encuentran en el aire de manera natural en los que se centre el estudio.

1.3 Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica

La Comunidad Valenciana cuenta con una red de estaciones que permite realizar un seguimiento de los niveles de los contaminantes atmosféricos más relevantes en las principales áreas urbanas e industriales. La Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (RVVCCA) comenzó a operar en 1994 con el objetivo de monitorizar la calidad del aire. Es una eficaz herramienta que permite conocer los niveles de inmisión del área donde se encuentre la estación de medición [11].

La mayoría de los sensores de las estaciones de la RVVCCA analizan el aire en tiempo real y transfieren la información al centro de recepción de datos denominado Centro de Control de la Calidad del Aire, en la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica, para ser estudiada. De este modo, se consigue llevar a cabo un control efectivo de las emisiones que permite mantener la calidad del aire dentro de los límites establecidos por la legislación, a la vez que permite establecer las relaciones causa – efecto entre los focos de emisión y el campo de inmisiones, con el fin de actuar de manera preventiva.

Los parámetros contaminantes que se analizan son los recogidos por la normativa vigente (Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia, y su transposición la ordenamiento jurídico Español mediante el R.D. 102/2011, relativo a la mejora de la calidad del aire). En el apartado 3.2 se concretan cuáles son los contaminantes analizados. Además, en algunas estaciones también se recogen parámetros meteorológicos.

Para la determinación de éstos se emplean equipos basados en los métodos oficiales recogidos en el anexo VII del R.D. 10/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, modificado por el Real Decreto 39/2017, de 27 de enero.

En la actualidad hay un total de 65 estaciones o puntos de control distribuidos por toda la Comunidad Valenciana. Entre las estaciones se encuentran unidades móviles,

equipadas con analizadores automáticos, y una unidad de intervención rápida, la cual se utiliza para dar una respuesta rápida a cualquier incidencia ambiental y poder realizar un diagnóstico de la calidad del aire en lugares donde no existan estaciones pertenecientes al resto de redes.

También existen redes manuales de medida para la determinación de partículas en suspensión ($PM_{2.5}$ y PM_{10}), que constan de filtros que retienen partículas durante 24 h y luego son analizados en los laboratorios acreditados de análisis de contaminantes.

1.4 Contaminación atmosférica en la provincia de Valencia

La contaminación atmosférica en la provincia de Valencia ha evolucionado a lo largo de los años y se han realizado estudios por parte de la Conselleria D'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica y Transició Ecològica de la Generalitat Valenciana desde el año 2005 hasta la actualidad, diferenciando por áreas costeras y de interior. Estos estudios realizados de anualmente analizan los niveles de concentración de cada contaminante según la normativa vigente. Por otra parte, siendo unos estudios muy completos, no existe un seguimiento y una evolución de la contaminación en la provincia de Valencia que muestre la tendencia a largo plazo de las concentraciones de los principales contaminantes [12].

La RVVCCA presenta estaciones de medición desde el año 1994 y, debido a la ausencia de un estudio que analice la calidad del aire desde ese año hasta la actualidad, este trabajo se centra en analizar y evaluar la calidad del aire a partir de los datos de los contaminantes y exponer su evolución y tendencia.

Por otra parte, como se ha comentado anteriormente, no se han realizado estudios que desarrollen un análisis de los niveles de fondo que representen las concentraciones de esos contaminantes presentes en el aire de manera natural.

De este modo, identificando la ausencia de unos niveles de fondo representativos y el análisis de la evolución y tendencia de la calidad del aire en la provincia de Valencia, se considera necesario la realización de este trabajo, consiguiendo una visión global de la contaminación atmosférica en esta provincia.

2 OBJETIVOS

Los objetivos planteados en el presente trabajo se centran, por una parte, en la necesidad de realizar un estudio que plasme la evolución y tendencia de la calidad del aire a largo plazo y su relación con diferentes variables y, por otra parte, en establecer los niveles de fondo que representen la calidad del aire sin contaminación antropogénica.

2.1 Objetivo general

El objetivo general del proyecto es el estudio de la calidad del aire en la provincia de Valencia a partir de los datos presentes en la web de la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (RVVCCA) y establecer sus niveles de fondo.

2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que se han planteado para la consecución del objetivo general de este trabajo son los siguientes:

1. Revisión bibliográfica de estudios de calidad del aire en la provincia de Valencia.
2. Estudiar la evolución temporal de los contaminantes.
3. Comprobar para cada contaminante si cumple o no la legislación (en qué periodos cumple y en qué periodos no).
4. Analizar los principales contaminantes por zonas y tipo de estación (urbana, suburbana y rural; fondo, tráfico e industrial).
5. Determinación de los contaminantes más frecuentes y relación entre ellos.
6. Establecimiento de los niveles de fondo.
7. Analizar la relación que existe entre la localización y los niveles de concentración.
8. Examinar las posibles relaciones con las variables meteorológicas (lluvia, temperatura, viento, etc.).

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Metodología

Los datos que se han utilizado para la realización del trabajo son los presentes en la página web de la **Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica**. Concretamente estos datos son los recogidos en la normativa vigente (Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia, y su transposición la ordenamiento jurídico Español mediante el R.D. 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire).

Para cada estación, se descargaron los valores diarios del periodo entre 1994 y 2019, tanto de concentraciones de contaminantes como de datos meteorológicos. No obstante, es importante resaltar en este momento, que no todas las estaciones registran las mismas variables ni presentan datos en todo el periodo.

Para analizar los datos se han agrupado todos ellos en una base de datos uniformemente estructurada y se han diferenciado por estaciones de medición, año y contaminante. A partir de los datos diarios de concentración de los contaminantes se han realizado distintos estudios:

1. Por un lado, se ha calculado el promedio anual de cada estación y, de esta manera, se estudia su evolución y su nivel de inmisión en los diferentes municipios. Este enfoque permitirá mostrar los cumplimientos de los límites de las distintas estaciones (apartados 4.1) así como identificar los distintos niveles: con mayor contaminación (apartado 4.2), según el tipo de estación (apartado 4.3), de fondo (apartado 4.4). Estos análisis se realizaron con la herramienta Microsoft Excel.
2. Por otro lado, a partir del conjunto total de datos disponibles, se realizan estudios de descripción estadística de los mismos, así como de regresión entre contaminantes (apartados 4.5 y 4.6) y entre estos y las variables atmosféricas (apartado 4.7). Estos estudios se realizaron con el software Statgraphics 19.

La Tabla 2 resume la cantidad de estaciones según su tipología y el número de datos en los que se ha basado el estudio:

Tipo de estación	de N.º de estaciones	de N.º de datos
Urbana	18	742 148
Suburbana	18	482 375
Rural	3	98 491
Total	39	1 323 014

Tabla 2. Número de estaciones y cantidad de datos utilizada.

A continuación, mostramos las particularidades de los datos disponibles, tanto en cuanto a contaminantes como respecto a variables meteorológicas, así como los valores límite que se han utilizado para la obtención de los resultados.

3.2 Datos de contaminantes

Los principales contaminantes atmosféricos en los que se basa el estudio son aquellos que presentan mayor toxicidad ambiental y en los que la legislación atribuye un valor límite de inmisión. Existen otros contaminantes que, aunque no presenten un valor límite, pueden interactuar con otros compuestos presentes en el aire y aumentar su capacidad de contaminación.

Los principales contaminantes en los que se va a centrar el estudio son los siguientes (para una descripción de cada uno de ellos, véase el apartado 1.2):

- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Monóxido de carbono (CO)
- Ozono (O₃)
- Benceno (C₆H₆)
- Benzo(a)pireno (BaP)
- Partículas PM₁₀ y PM_{2.5}
- Metales: arsénico (As), níquel (Ni), cadmio (Cd) y plomo (Pb)

La información sobre la calidad de los datos y la presentación de los resultados de la evaluación de la calidad del aire para los compuestos nombrados anteriormente se recoge en el *Anexo V* y *Anexo VI del R.D. 102/2011, de 28 enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, modificado por el Real Decreto 39/2017, de 27 de enero*. Para la determinación de estos contaminantes, se emplean equipos basados en los métodos oficiales recogidos en el *Anexo VII* de dicho Real Decreto.

3.3 Datos meteorológicos

Algunas estaciones disponen de sensores para los diferentes parámetros meteorológicos, los cuales han sido recogidos para el estudio ya que pueden resultar

de gran utilidad para la interpretación de los datos y conseguir un mayor conocimiento sobre la dinámica de los contaminantes en el seno de la atmósfera. Las variables meteorológicas son las siguientes:

- Temperatura (°C)
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del viento (grados)
- Humedad relativa (% H.R.)
- Radiación solar (W/m²)
- Presión atmosférica (mbar)
- Precipitación (l/m²)

3.4 Valores límite de inmisión

La legislación vigente establece unos niveles en relación con los valores de inmisión para los diferentes contaminantes, los cuales no pueden ser superados. Estos valores han sido fijados tomando como base el conocimiento científico para conseguir prevenir, evitar y/o reducir los efectos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Según el tipo de contaminante, se utilizan unos criterios u otros.

Según la 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, entendemos como *valor límite* “el nivel fijado con arreglo a conocimientos científicos con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente, que debe alcanzarse en un período determinado y no superarse una vez alcanzado”. Por otra parte, entendemos como *nivel crítico* “el nivel fijado con arreglo a conocimientos científicos por encima del cual pueden producirse efectos nocivos en algunos receptores como las plantas, los árboles o los ecosistemas naturales, pero no para el hombre” [13].

- Niveles de inmisión de dióxido de azufre (SO₂). Según lo establecido en el Anexo XI de la Directiva 2008/50/CE y Anexo I del Real Decreto 102/2011, los valores límites para la protección de la salud en el caso del dióxido de azufre son los siguientes:

	Periodo medio	Valor límite	Fecha de cumplimiento
1. Valor límite diario	1 día	125 µg/m ³ no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil	En vigor desde el 1 de enero de 2005

2. Nivel crítico	Año civil e invierno (del 10 de octubre al 31 de marzo)	20 µg/m ³	En vigor desde el 11 de junio de 2008
-------------------------	---	----------------------	---------------------------------------

Tabla 3. Valor límite y nivel crítico de los niveles de inmisión para el SO₂.

- Valores límite en los niveles de inmisión de dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Los valores límite para la protección de la salud para el NO₂, definidos en el Anexo XI de la Directiva 2008/50/CE y actualizados en el Anexo I del R.D. 102/2011, son los siguientes:

	Periodo medio	Valor límite	Fecha de cumplimiento
1. Valor límite diario	1 año civil	40 µg/m ³ de NO ₂	1 de enero de 2010
2. Nivel crítico	1 año civil	30 µg/m ³ de NO _x	En vigor desde 11 de junio de 2008

Tabla 4. Valor límite para el NO₂ y nivel crítico para el NO_x en los niveles de inmisión.

- Valores límite en los niveles de inmisión de monóxido de carbono (CO). Los valores límite para el monóxido de carbono vienen establecidos en el Anexo XI de la Directiva 2008/50 y Anexo I del Real Decreto 102/2011, donde se indica:

	Periodo medio	Valor límite	Fecha de cumplimiento
Valor límite	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	10 mg/m ³	En vigor desde 1 enero de 2005

Tabla 5. Valor límite en los niveles de inmisión para el CO.

La concentración máxima de las medias móviles octohorarias correspondientes a un día se escogerá examinando las medias móviles de ocho horas, calculadas a partir de datos horarios y que se actualizarán cada hora. Cada media octohoraria así calculada se atribuirá al día en que termine el período, es decir, el primer período de cálculo para cualquier día dado será el período que comience a las 17:00 de la víspera y termine a la 1:00 de ese día; el último período de cálculo para cualquier día dado será el que transcurra entre las 16:00 y las 24:00 de ese día (*Anexo XI Directiva 2008/50*).

- Valor objetivo y objetivo a largo plazo para el ozono (O₃). La normativa establece otros criterios para evaluar este contaminante, no utiliza los conceptos de valores

límite, aplica el concepto de valor objetivo. Para el ozono se tiene en cuenta el siguiente valor objetivo y objetivo a largo plazo:

	Periodo medio	Valor límite	Fecha de cumplimiento
1. Valor objetivo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 µg/m ³ que no deberá superarse más de 25 ocasiones por año civil de promedio en un periodo de 3 años	No definida
2. Objetivo a largo plazo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las media móviles octohorarias en un año civil	120 µg/m ³	En vigor desde el 11 de junio de 2008

Tabla 6. Valor objetivo y objetivo a largo plazo en los niveles de inmisión para el O₃.

- Valor límite del benceno (C₆H₆) para la protección de la salud en los niveles de inmisión. Los valores límite para el benceno vienen establecidos en el Anexo XI de la Directiva y Anexo I del Real Decreto 102/2011:

	Periodo medio	Valor límite	Fecha de cumplimiento
Valor límite	Año civil	5 µg/m ³	En vigor desde 1 de enero de 2010

Tabla 7. Valor límite en los valores de inmisión para el benceno.

- Valores límite de inmisión de las partículas:
 - a. PM₁₀

Los niveles de inmisión de la fracción PM₁₀ en condiciones ambientales para la protección de la salud, según establece la *Directiva 2008/50* y en el *Real Decreto 102/2011* son los siguientes:

	Periodo medio	Valor límite	Fecha de cumplimiento
1. Valor límite diario	24 horas	50 µg/m ³ que no deberá superarse más de 35 ocasiones por año	En vigor desde el 1 de enero de 2005
2. Valor límite anual	Año civil	40 µg/m ³	En vigor desde el 1 de enero de 2005

Tabla 8. Valores límite en los niveles de inmisión para el PM₁₀.

Sobre el PM₁₀ se realizan análisis de los metales arsénico, níquel, cadmio y el hidrocarburo benzo(a)pireno.

Contaminante	Valor objetivo	Fecha de cumplimiento
Arsénico (As)	6 ng/m ³	1 de enero de 2013
Cadmio (Cd)	5 ng/m ³	1 de enero de 2013
Níquel (Ni)	20 ng/m ³	1 de enero de 2013
Benzo(a)pireno (BaP)	1 ng/m ³	1 de enero de 2013

Tabla 9. Valores objetivo de As, Cd, Ni y BaP según los niveles de inmisión.

b. PM_{2.5}

Los niveles de inmisión de la fracción PM_{2.5} en condiciones ambientales para la protección de la salud, según establece la *Directiva 2008/50* y en el *Real Decreto 102/2011* son los siguientes:

	Periodo medio	Valor límite	Fecha de cumplimiento
1. Valor objetivo anual	1 año civil	25 µg/m ³	En vigor desde el 1 de enero de 2010
2. Valor límite anual	1 año civil	25 µg/m ³	1 de enero de 2015

Tabla 10. Valor objetivo y valor límite de PM_{2.5} en los niveles de inmisión.

– Valor límite para la protección de la salud para el plomo (Pb)

	Periodo medio	Valor límite	Fecha de cumplimiento
Valor límite anual	1 año civil	0,5 µg/m ³	En vigor desde 1 de enero de 2005

Tabla 11. Valor límite en los niveles de inmisión para el Pb.

3.5 Estaciones de medición

El estudio ha abordado un total de 40 estaciones pertenecientes a la Provincia de Valencia, recopilando los datos desde el año 1994 hasta el 2019. Cada municipio puede presentar diferentes contaminantes, diferentes años y puede o no presentar datos meteorológicos.

La Tabla 13 enumera las estaciones de medición, el rango de tiempo en el que presentan datos, los contaminantes muestreados y las variables meteorológicas (se sombrea en gris las estaciones que registran los contaminantes bajo estudio y en azul las que registran tanto estos contaminantes como datos meteorológicos):

Estación	Rango	Contaminantes	Uds.	Datos meteorológicos
Albalat dels Tarongers	2009-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
Algar de Palancia	2012-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
Alzira Manual	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Alzira	2001-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	Viento; T ^a ; HR; Presión; R. Solar; Precipitación
		CO	mg/m ³	
		Ni, Cd, As, BaP	ng/m ³ N	
Benigànim	2003-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	Viento; T ^a ; HR; Presión; R. Solar; Precipitación
		CO	mg/m ³	
		Ni, Cd, As, BaP	ng/m ³ N	
Burjassot	1994-2002	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , Pb	µg/m ³	Viento; T ^a ; HR; R. Solar; Precipitación
		CO	mg/m ³	
Burjassot-Facultats	2002-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	Viento; T ^a ; HR; R. Solar; Precipitación
		CO	mg/m ³	
		Ni, Cd, As, BaP	ng/m ³ N	
Buñol CEMEX	2007-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀	µg/m ³	Viento; T ^a ; HR; R. Solar; Precipitación
		CO	mg/m ³	
Cortes de Pallas	2010-2019	O ₃	µg/m ³	T ^a ; HR
Gandía	1994-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
		Ni, Cd, As, BaP	ng/m ³ N	
Manises	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Ollería	1994-1998; 2000-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Ontinyent	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Ontinyent 2		SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	

	2003-2019	CO	mg/m ³	Viento; T ^a ; HR; Presión; R. Solar; Precipitación
		Ni, Cd, As, BaP	ng/m ³ N	
Paterna	1994-2006	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
		Ni, Cd, As, BaP	ng/m ³ N	
Paterna-CEAM	2007-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
		Ni, Cd, As, BaP	ng/m ³ N	
Quart de Poblet	1994-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
Sagunt	1994-2005	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , Pb	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
Sagunt Port	1994-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , Pb	µg/m ³	Viento; T ^a ; HR; R. Solar
		CO	mg/m ³	
Silla	1994-2004; 2017;2019	SO ₂	µg/m ³	-
Sollana UM	2018-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
Torrent	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Torrent-El Vedat	2014-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
		Ni, Cd, As	ng/m ³ N	
Valencia-Pista de Silla	1994-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb	µg/m ³	Viento; T ^a ; HR; Presión; R. Solar
		CO	mg/m ³	
Valencia-Vivers M	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Valencia-Vivers	2002-2019	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , Pb, C ₆ H ₆	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
		Ni, Cd, As, BaP	ng/m ³ N	
Valencia-Aragón	1994-2007	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , PM _{2.5} , PM ₁₀	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
Valencia-Avd. Port	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Valencia-Gran Vía	1994-2002	SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃ , Pb	µg/m ³	-
		CO	mg/m ³	
Valencia-Ayora	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Valencia-C/Sagunt	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Valencia-Laboratori	1994-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Valencia-Polígono	1994-1995; 1997-2004	SO ₂	µg/m ³	-
Valencia-Linares		SO ₂ , NO ₂ , NO _x , O ₃	µg/m ³	-

emisión que les afectan (tráfico, industrial y fondo). En cada estación el entorno se define como una combinación entre ambas clasificaciones.

Por tipo de zona:

- **Urbana:** zona edificada continua.
- **Suburbana:** zona muy edificada: zona continua de edificios separados combinada con zonas no urbanizadas (pequeños lagos, bosques, tierras agrícolas).
- **Rural:** todas las zonas que no satisfacen los criterios establecidos por las zonas urbanas/suburbanas.

Por tipo de fuentes de emisión:

- **Tráfico:** estaciones situadas de tal manera que su nivel de contaminación está influenciado principalmente por las emisiones procedentes de una calle/carretera próxima.
- **Industrial:** estaciones situadas de tal manera que su nivel de contaminación está influenciado principalmente por fuentes industriales aisladas o zonas industriales.
- **Fondo:** estaciones que no están influenciadas ni por el tráfico ni por la industria (no por una única fuente o calle, sino por la contribución integrada de todas las fuentes a barlovento de la estación).

A continuación, se listan las estaciones según la clasificación anteriormente descrita:

ESTACIÓN	TIPOLOGÍA		ESTACIÓN	TIPOLOGÍA	
	Zona	Fuente		Zona	Fuente
Albalat dels Tarongers	Suburbana	Industrial	Valencia-Pista de Silla	Urbana	Tráfico
Algar de Palancia	Rural	Fondo	Valencia-Vivers M	Urbana	Fondo
Alzira Manual	Suburbana	Fondo	Valencia-Vivers	Urbana	Fondo
Alzira	Suburbana	Fondo	Valencia-Aragón	Urbana	Tráfico
Benigànim	Suburbana	Fondo	Valencia-Avd. Port	Urbana	Tráfico
Burjassot	Urbana	Fondo	Valencia-Gran Vía	Urbana	Fondo
Burjassot-Facultats	Urbana	Tráfico	Valencia-Ayora	Urbana	Fondo
Buñol CEMEX	Suburbana	Industrial	Valencia-C/Sagunt	Urbana	Fondo
Cortes de Pallas	Rural	Fondo	Valencia-Laboratori	Suburbana	Fondo
Gandía	Urbana	Tráfico	Valencia-Polígono	Suburbana	Industrial
Manises	Suburbana	Fondo	Valencia-Linares	Urbana	Fondo
Ollería	Suburbana	Fondo	Valencia-Nuevo Centro	Urbana	Tráfico
Ontinyent	Suburbana	Fondo	Valencia-Politécnic	Suburbana	Fondo
Ontinyent 2	Suburbana	Fondo	Vilamarxant	Suburbana	Fondo
Paterna	Suburbana	Fondo	Villar del Arzobispo	Rural	Fondo
Paterna-CEAM	Suburbana	Fondo	Xàtiva	Suburbana	Fondo
Quart de Poblet	Urbana	Tráfico			
Sagunt	Urbana	Fondo			
Sagunt Port	Urbana	Tráfico			
Silla	Urbana	Fondo			
Sollana UM	Suburbana	Fondo			
Torrent	Urbana	Fondo			
Torrent-El Vedat	Suburbana	Fondo			

Tabla 13. Listado de las estaciones según su tipología. Fuente: Direcció General de Qualitat i Educació Ambiental, GVA.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación sobre la calidad del aire se realiza según las zonas y aglomeraciones definidas en cada territorio. Cara al presente estudio, lo que se desea es mostrar de forma global la evolución y tendencia de la calidad del aire en la provincia de Valencia y para ello se han elaborado unos indicadores generales por sustancia contaminante, a partir de la información disponible en la web de la RVVCCA.

4.1 Cumplimiento de los límites

Los compuestos químicos considerados como contaminantes en la legislación vigente y para los que presenta unos valores límite de inmisión, son aquellos en los que se va a centrar este apartado. Se listan aquellas estaciones que superan estos valores límite establecidos entre el año 1994 y 2019.

4.1.1 Dióxido de azufre (SO₂)

La Tabla 15 muestra aquellas estaciones de medición presentes en la provincia de Valencia que superan el nivel crítico de 20 µg/m³ de media anual para el SO₂:

Estaciones	Superaciones del nivel crítico									
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Alzira manual	X									
Manises	X									
Quart de Poblet	X									
Sagunt	X									
Torrent		X								
Val. - Aragón	X	X								
Val. - Avd. Port	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Val. - C Sagunt	X	X	X		X			X	X	
Val. - Gran vía			X					X	X	
Val. - Laboratori	X	X		X	X		X	X	X	
Val. - Linares	X	X	X		X					
Val. - N. Centro	X			X	X	X	X			
Val. - Polígono	X	X		X	X	X		X	X	X
Val. - Vivers M	X	X	X		X		X			

Tabla 14. Estaciones que superan el nivel crítico anual (20 µg/m³) de SO₂ de 1994 a 2003.

El valor límite para el SO₂ (125 µg/m³) solo es superado en tres estaciones. La Tabla 16 muestra las estaciones y los años en que el valor límite es superado en más de tres ocasiones al año:

Estaciones	Superaciones del valor límite		
	1994	1995	2006
Val. - Avd. Port			X
Val. - Laboratori	X	X	
Val. - N. Centro	X		

Tabla 15. Estaciones que superan el valor límite (125 µg/m³) de SO₂ en más de tres ocasiones al año.

4.1.2 Monóxido de carbono (CO)

El valor límite diario del CO (10 mg/m³) no es superado en ninguna de las estaciones, todas presentan sus valores dentro del límite establecido y, por lo tanto, cumplen la legislación.

4.1.3 Dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x)

El valor límite para el NO₂, como se ha comentado anteriormente, se encuentra en 40 µg/m³ de media anual y, para el NO_x, el nivel crítico se encuentra en 30 µg/m³. La Tabla 16 muestra aquellas estaciones que superan el nivel crítico para el NO_x en el periodo 1994-2019:

Estaciones	Superaciones del nivel crítico (NO _x)												
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Burjassot	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Burjassot - Fac.									X	X	X	X	X
Gandía	X	X	X	X	X	X			X	X		X	
Paterna	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Pista de Silla	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Quart de Poblet	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Sagunt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Sagunt-Port	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sollana UM													
Val. - Aragón	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Val. - Gran Vía	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Val. - Linares	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Val. - N. Centro	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Val. - Politècnic													
Val. - Vivers	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Estaciones	Superaciones del nivel crítico (NO _x)												
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Burjassot													
Burjassot - Fac.	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
Gandía	X												
Paterna													
Pista de Silla	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Quart de Poblet	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sagunt													
Sagunt-Port	X	X	X	X	X	X	X						
Sollana UM													X
Val. - Aragón	X												
Val. - Gran Vía													
Val. - Linares	X	X	X	X									
Val. - N. Centro	X	X	X										
Val. - Politécnic		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Val. - Vivers	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 16. Estaciones que superan el nivel crítico (30 µg/m³) para el NO_x de 1994 a 2019.

La Tabla 17 muestra las estaciones que superan el valor límite para el NO₂ en el periodo 1994-2016:

Estaciones	Superaciones del valor límite (NO ₂)												
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Burjassot	X	X	X	X	X		X						
Pista de Silla	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Quart de Poblet	X	X	X	X	X	X	X						
Sagunt	X	X	X	X	X	X		X					
Val. - Aragón	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Val. - Linares	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Val. - N. Centro	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Estaciones	Superaciones del valor límite (NO ₂)												
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Burjassot													
Pista de Silla	X	X	X	X			X	X	X	X			
Quart de Poblet													
Sagunt													
Val. - Aragón													
Val. - Linares	X	X	X	X									
Val. - N. Centro	X	X	X										

Tabla 17. Estaciones que superan el valor límite (40 µg/m³) para el NO₂ de 1994 a 2016.

4.1.4 Ozono (O₃)

Tanto los valores diarios como las medias anuales de O₃ se encuentran por debajo del valor límite establecido para este compuesto (120 µg/m³) en cada una de las estaciones de medición.

4.1.5 Material Particulado

En las estaciones de la Provincia de Valencia se empezaron a analizar las partículas sólidas desde el año 2001, según los datos obtenidos de la página web de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. En la legislación se estipula los valores límite del material particulado únicamente para las partículas PM₁₀ y PM_{2,5}, excluyendo a las PM₁.

a) PM₁₀

Este material, con un diámetro de partícula entre 2.5 y 10 µm, cumple con el valor límite anual para cada municipio y año de estudio, que no puede superar los 40 µg/m³ de media anual. Con respecto al valor límite diario (50 µg/m³), no se puede superar en más de 35 ocasiones y sólo la estación *Valencia-Vivers* supera un total de 55 veces el valor límite diario en el año 2003.

Respecto al análisis de metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) que se encuentran en este tipo de material particulado; a saber: Plomo (Pb), Níquel (Ni), Cadmio (Cd) y Arsénico (As) y, como HAP el Benzo(a)Pireno (BaP). *Todas las estaciones de control* presentan las concentraciones muy por debajo del valor objetivo establecido para cada uno de ellos.

b) PM_{2,5}

La Tabla 18 lista las estaciones que superan el valor límite anual (25 µg/m³) para la protección de la salud:

Estaciones	Superaciones del valor límite				
	2003	2004	2005	2006	2007
Benigànim		X		X	
Burjassot - Facultats				X	
Paterna	X				
Valencia - Vivers					X

Tabla 18. Estaciones que superan el valor límite (25 µg/m³) para PM_{2,5} de 2003 a 2007.

Con respecto al resto de municipios, todos los valores de este parámetro se encuentran muy por debajo del valor límite y, por lo tanto, cumplen la legislación.

4.1.6 Benceno (C₆H₆)

La medición de este hidrocarburo aromático solo se realizó en la estación de *Valencia-Vivers* de 2003 a 2019 y no supera en ningún caso el valor límite anual (5 µg/m³).

4.2 Niveles con mayor contaminación

Consideramos las zonas más contaminadas aquellas donde se encuentran las estaciones que superan los valores límite de inmisión establecidos por la legislación vigente, pudiendo ser perjudicial para la salud de las personas y los ecosistemas. Para poder representar estos valores se han realizado medias anuales y diarias, dependiendo del contaminante y si hacen referencia a valores límite o niveles críticos.

4.2.1 Dióxido de azufre (SO₂)

La Figura 3 muestra las estaciones que han superado el nivel crítico anual para el SO₂ (20 µg/m³), todas ellas pertenecen a estaciones de control que se encuentran localizadas en la ciudad de Valencia:

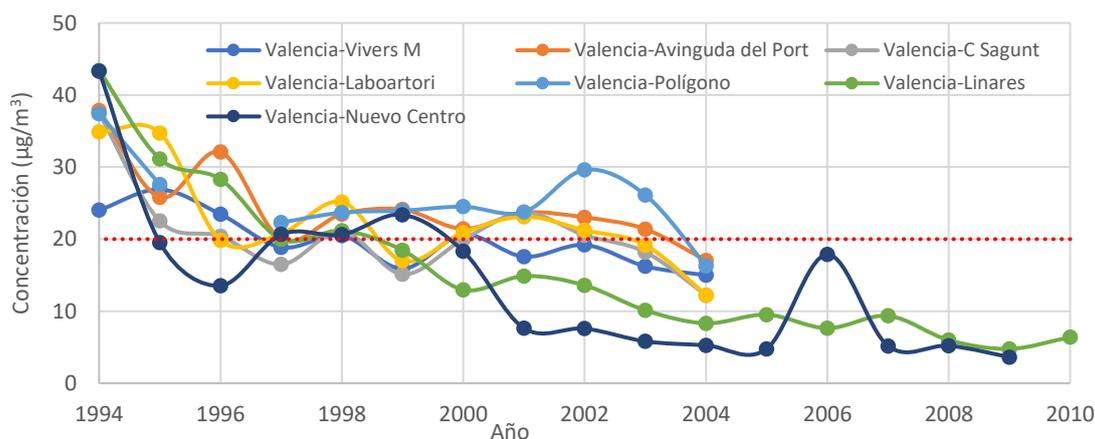


Figura 3. Evolución de la concentración de SO₂ en las estaciones situadas en la ciudad de Valencia que superan el nivel crítico anual (20 µg/m³).

Se observa que la tendencia general es descendente, aunque, excepto la estación *Valencia-Nuevo Centro* y *Valencia-Linares*, la serie de datos se detiene en 2004, año en el que todas las estaciones tienen valores por debajo del valor límite. *Valencia-Nuevo Centro* y *Valencia-Linares* presentan el mayor pico de contaminación en 1994, reduciendo su concentración un 96 % y un 85 % respectivamente.

4.2.2 Monóxido de carbono (CO)

Para el CO no hay superaciones del valor límite diario en ninguna de las estaciones, pero se podrán apreciar los niveles de concentración por estación en el apartado 4.3.2.

4.2.3 Dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x)

Para el compuesto NO_x se ha decidido dividir las gráficas y agrupar las estaciones, ya que aquellas que superan el nivel crítico anual en la ciudad de Valencia presentan valores mucho mayores que los que se encuentran en los municipios. De esta manera es más sencillo de analizar. La Figura 4 muestra aquellas estaciones de control que superan al menos en una ocasión el nivel crítico anual (35 µg/m³) para el NO_x:

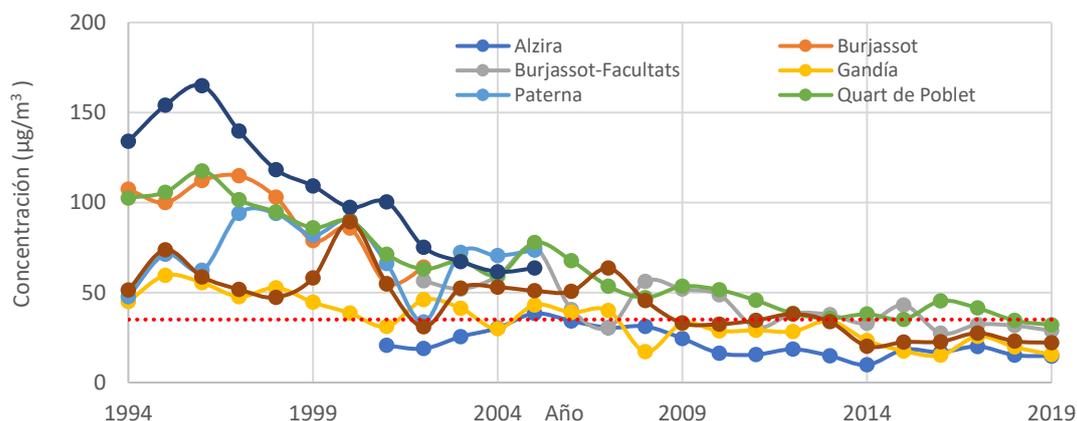


Figura 4. Evolución de la concentración de NO_x en las estaciones que superan el nivel crítico anual (35 µg/m³).

Se observa cómo en el periodo 1994-2012 las concentraciones son muy elevadas y **se llega a superar los 160 µg/m³** en la estación de *Sagunt*. La tendencia es descendente en todas las estaciones y, a partir de 2015, parece que los valores generalmente se estabilizan y se encuentran por debajo del nivel crítico, a excepción de algún repunte.

La Figura 5 muestra las estaciones presentes en la ciudad de Valencia que superan el nivel crítico anual (35 µg/m³) para el NO_x:

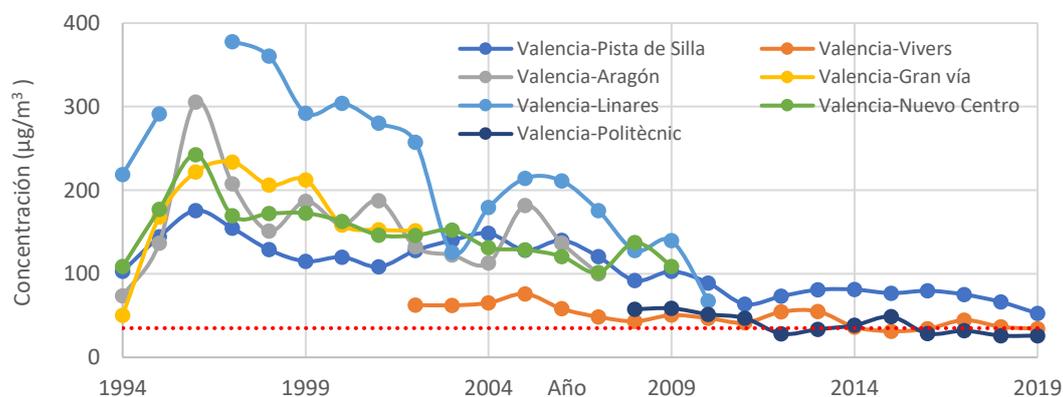


Figura 5. Evolución de la concentración de NO_x en las estaciones situadas en la ciudad de Valencia que superan el nivel crítico anual (35 µg/m³).

Se puede apreciar que los valores de concentración de NO_x recogidos en las estaciones de Valencia llegan a ser mucho mayores que las que presenta la Figura 4, ya que el

NO_x es la suma del NO₂ y NO, llegando a **valores de alrededor de los 377 µg/m³**. En 1996 se registran las concentraciones más elevadas para cada una de las estaciones. La tendencia general es descendente y a partir del 2010 parece que las concentraciones se estabilizan, aunque siguen superando el nivel crítico o se encuentran en el límite en muchos casos. La estación *Valencia – Pista de Silla* supera todos los años el nivel crítico.

En la Figura 6 se representa gráficamente las concentraciones de NO₂ de aquellas estaciones en las que se supera en valor límite anual (40 µg/m³):

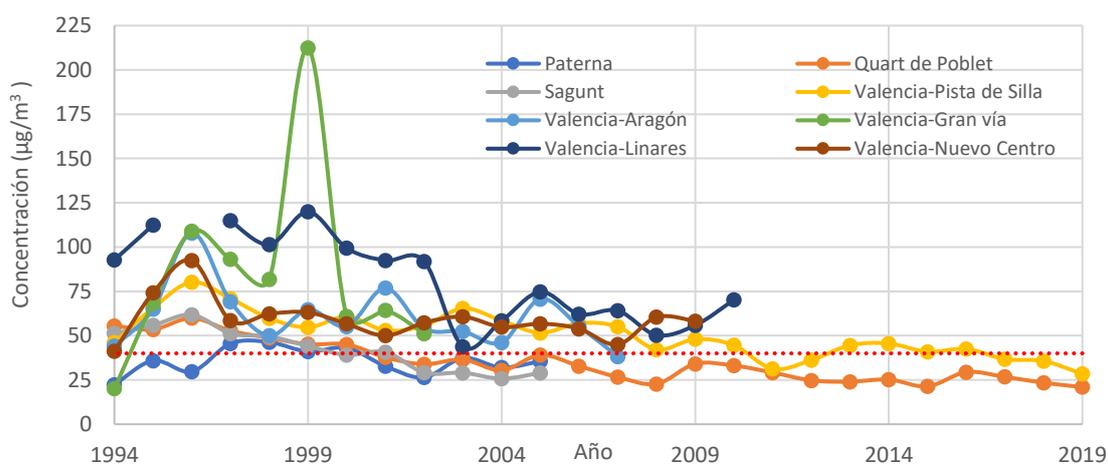


Figura 6. Evolución de la concentración de NO₂ en las estaciones que superan el valor límite anual (40 µg/m³).

Se observa cómo los primeros años todas las estaciones superan el valor límite, llegando a **superar los 200 µg/m³ en 1999** en *Valencia-Gran Vía*. El primer año las concentraciones son muy similares entre sí y muy cercanas al valor límite, las cuales aumentan rápidamente los dos siguientes años y vuelven a descender paulatinamente. La estación que presenta unos valores más estables y por debajo del valor límite es *Quart de Poblet*.

4.2.4 Ozono (O₃)

Para el contaminante O₃ las concentraciones se encuentran por debajo de los valores límite de inmisión establecidos por la legislación, tanto para la serie de datos diarios como las medias anuales. Aunque no exista esta superación, se ha podido identificar que las zonas alejadas de las zonas más urbanizadas y con menores emisiones de origen antropogénico son las que presentan concentraciones más elevadas. Estos niveles de contaminación se pueden observar en el apartado 4.3.4, dónde se identifican los niveles de concentración según el tipo de estación, diferenciando por las zonas donde se encuentra la estación y las fuentes de emisión.

4.2.5 Material Particulado

a) PM₁₀

Con respecto al material particulado, la Figura 7 muestra la evolución en el año 2003 de la concentración de PM₁₀ en la estación *Valencia-Vivers*, la cual supera el valor límite diario (50 µg/m³) en 55 ocasiones.

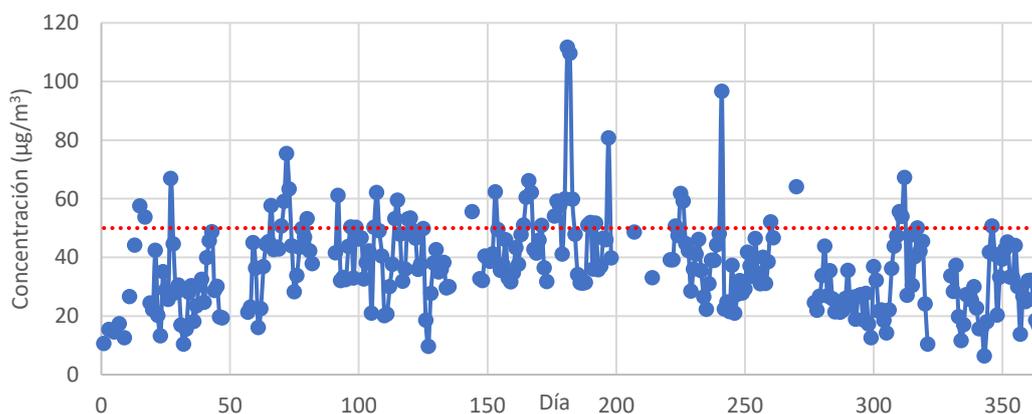


Figura 7. Evolución de la concentración diaria de PM₁₀ del año 2003 en la estación *Valencia-Vivers* que supera el valor límite diario (50 µg/m³) en más de 35 ocasiones al año.

Se observa cómo los valores más elevados se sitúan a mediados de año, durante la estación de verano. **La concentración media anual de PM₁₀ se encuentra alrededor de 37 µg/m³ y llega a superar los 110 µg/m³.** Las concentraciones más elevadas pueden deberse a intrusiones y tormentas de arena y polvo, situaciones bastante corrientes en verano en Valencia.

b) PM_{2.5}

En este apartado se muestra las estaciones que superan el valor límite anual del PM_{2.5} (25 µg/m³). La Figura 8 muestra estas concentraciones y su evolución a lo largo del periodo 2003-2019:

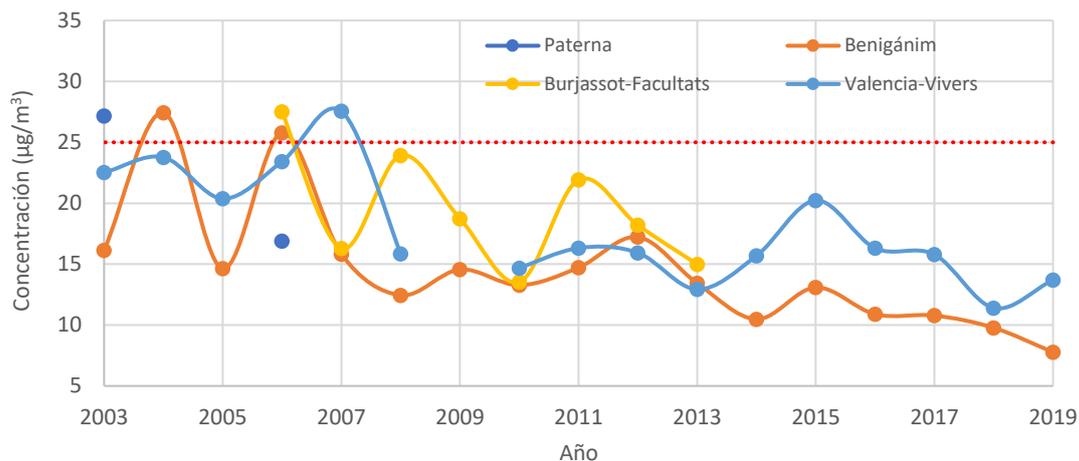


Figura 8. Evolución de la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones que superan el valor límite anual ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se puede observar que, aunque no haya habido muchas superaciones, éstas se encuentran más localizadas en los primeros 5 años de mediciones. A partir del 2008 no existen más superaciones y las concentraciones tienden a descender. Los **niveles más elevados** de $PM_{2.5}$ se encuentran en valores **alrededor de los $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$** y los **menores alrededor de los $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .

4.3 Niveles según tipo de estación

En este apartado se muestra la evolución de los diferentes contaminantes de las estaciones de control, diferenciando por el tipo de área (urbana, suburbana y rural) y las fuentes de emisión (industrial, tráfico y fondo). Los datos que se ha utilizado para realizar las gráficas son los promedios anuales de las tipologías de las estaciones para cada contaminante y año según la clasificación de la *Tabla 3*.

4.3.1 Dióxido de azufre (SO₂)

Para este contaminante se muestra la evolución de sus concentraciones a lo largo de los años 1994-2019. La Figura 9 representa la evolución de las medias anuales del SO₂ de las estaciones utilizadas en la evaluación agrupadas por tipo de estación:

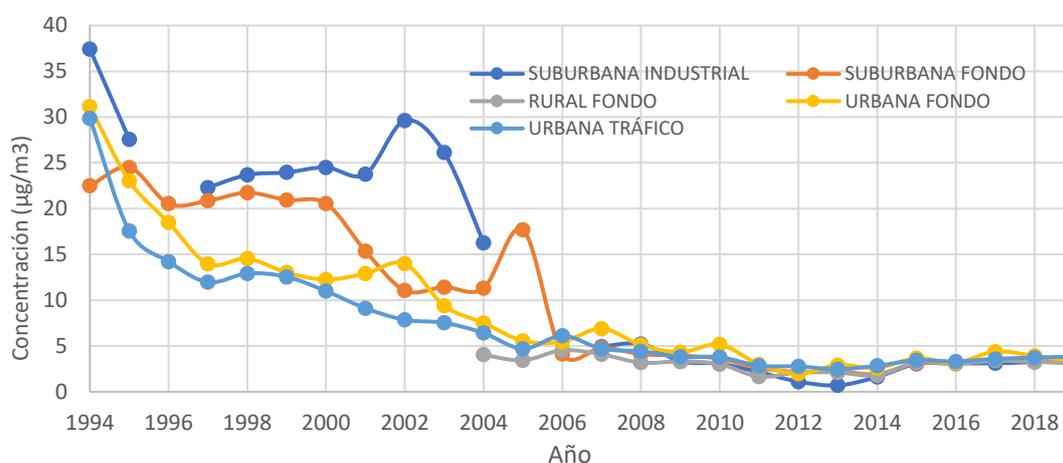


Figura 9. Evolución de las medias anuales de SO₂ (1994-2019) por tipo de estación.

Se observa cómo en 2006 la tendencia de esa rápida disminución de las concentraciones se reduce, éstas empiezan a estabilizarse. Las **concentraciones se reducen un 87 %** de promedio entre todas las estaciones a excepción de la *rural fondo*, que se mantiene muy estable. A partir del 2015 en todas las estaciones las concentraciones se mantiene bajas y constantes, a unos niveles muy por debajo de los primeros 10 años de estudio. Esta reducción generalizada en las concentraciones puede deberse a la eficiencia en la fabricación de los vehículos y a las restricciones sobre sus emisiones, cada vez más estrictas, y a la reducción de las emisiones en centrales eléctricas e industrias.

4.3.2 Monóxido de carbono (CO)

Para el CO se muestra la evolución de sus concentraciones a lo largo de los años 1994-2019. La Figura 10 representa la evolución de las medias anuales del CO de las

estaciones que presentan medición de este contaminante, agrupadas por tipo de estación:

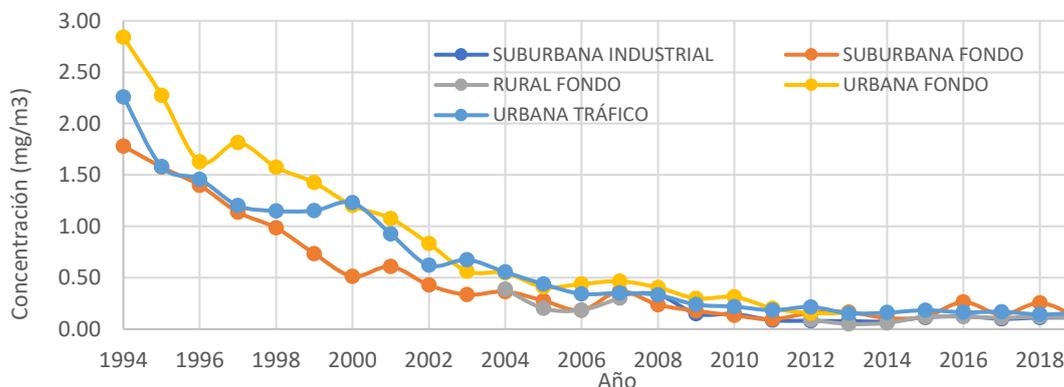


Figura 10. Evolución de las medias anuales de CO (1994-2019) por tipo de estación.

Se observa cómo de 1994 a 2004 existe una gran tendencia descendente en todas las estaciones. Desde el 2004, todas ellas se aproximan a los valores de fondo hasta llegar a estabilizarse en 2011, excepto por algunos repuntes de la *suburbana fondo*, presentando unos valores muy reducidos alejados de los valores de los primeros años. La **máxima concentración** detectada ronda los **2.80 mg/m³** y la **mínima 0.16 mg/m³**, **reduciendo las concentraciones en un 90 %** aproximadamente. Esta reducción puede deberse a la eficiencia en la combustión de los combustibles carbonosos, por ejemplo, en el tráfico, reduciendo su formación por la utilización de conversores catalíticos.

4.3.3 Dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x)

En este apartado se muestra la evolución del NO₂ y NO_x a lo largo de los años 1994-2019. La Figura 11 y la Figura 12 representan las evoluciones de las medias anuales de estos dos contaminantes de las diferentes tipologías de estaciones.

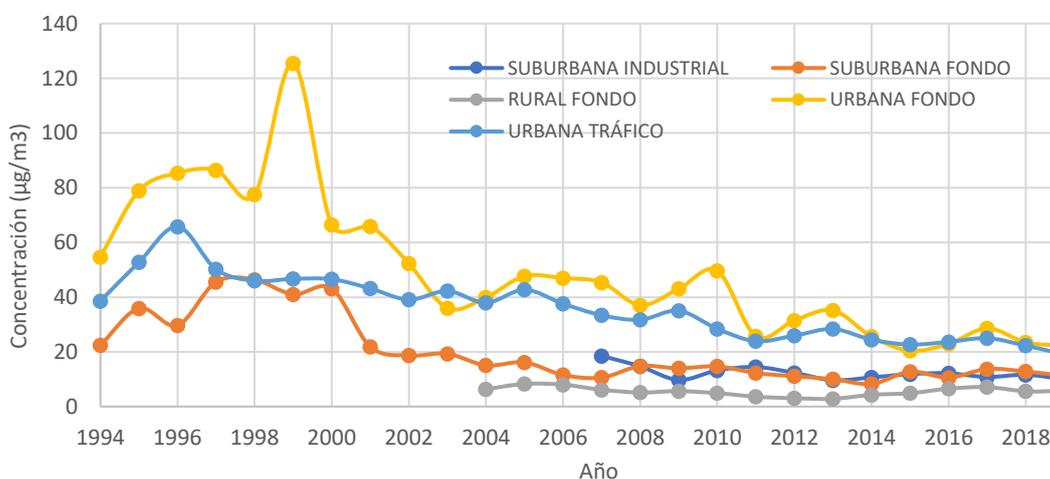


Figura 11. Evolución de las medias anuales de NO₂ (1994-2019) por tipo de estación.

Se puede observar que en 1994 las concentraciones aumentan en las estaciones *urbana tráfico* y *urbana fondo* en los primeros años, **llegando a concentraciones de hasta 125 µg/m³**. En este caso, la estación de tipo *urbana fondo* es la que presenta valores más elevados a lo largo del periodo de tiempo debido principalmente a la estrecha relación con las emisiones de vehículos a motor, considerándose un buen indicador de contaminación producida por el tráfico [14]. Por el contrario, las de tipo *suburbana fondo* y *suburbana industrial* presentan valores mucho menores y estables, concentraciones muy cercanas a las de *rural fondo*.

La Figura 12 representan las evoluciones de las medias anuales de NO_x de las diferentes tipologías de estaciones:

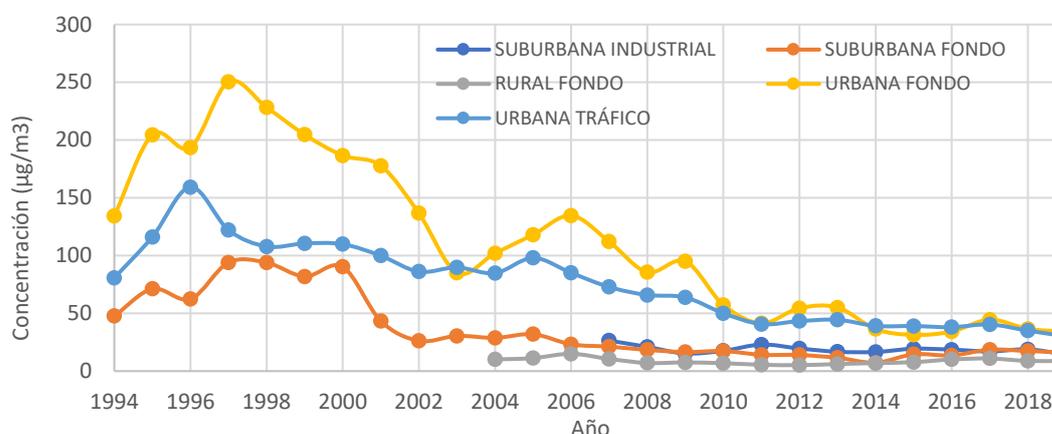


Figura 12. Evolución de las medias anuales de NO_x (1994-2019) por tipo de estación.

Ambos contaminantes presentan una tendencia muy similar y favorable, ya que, aunque con algunos repuntes, los valores de concentración se reducen en todas las estaciones. Esta reducción es más notoria en las estaciones clasificadas como *urbana fondo*, las cuales presentan unas concentraciones muy elevadas durante los primeros años de medición.

Se observa en ambas gráficas que las estaciones clasificadas como *suburbana fondo* y *suburbana industrial* son las que presentan unos valores mucho más estables y cercanos a los niveles de fondo de las estaciones *rural fondo*. De lo contrario, la *urbana fondo* y la *urbana tráfico* son las que mayores niveles presentan, y no es casualidad, ya que sus concentraciones están directamente relacionadas con las emisiones de los vehículos y estos dos tipos de estaciones son aquellas que más tráfico rodado presentan. Las reducciones en las concentraciones a lo largo del periodo de tiempo estudiado se debe a lo mismo que en el SO₂ y CO, la eficiencia en la fabricación y emisiones de los vehículos.

4.3.4 Ozono (O₃)

En este apartado se muestra la evolución del O₃ a lo largo de los años 1994-2019. La Figura 13 representa la evolución de las medias anuales de este compuesto de las estaciones que presentan valores de O₃, agrupadas por tipo de estación:

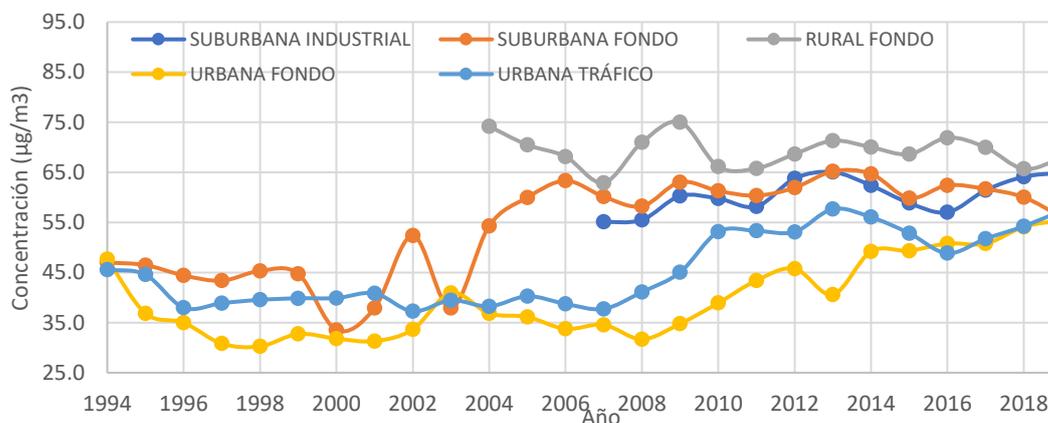


Figura 13. Evolución de las medias anuales de O₃ (1994-2019) por tipo de estación.

Se observa que a lo largo del periodo considerado los valores han ido aumentando en todas las estaciones excepto en las **estaciones rural fondo** que se han mantenido **entre los valores 65-75 µg/m³** (en 2007 se registra el **nivel más bajo de la serie por debajo de 63 µg/m³**), siendo este tipo de estaciones las que presentan mayor nivel de contaminación. Las estaciones de tipo *urbana fondo* son las que presentan menor nivel de concentración de O₃.

Por lo tanto, los niveles de O₃ son superiores en la periferia de las grandes zonas urbanas y en las zonas rurales, ya que una vez formados y en ambientes urbanos con elevados niveles de NO, el O₃ se consume rápidamente mediante el proceso de oxidación de NO a NO₂. Es por ello por lo que, en las zonas urbanas con elevado tráfico, los niveles de este compuesto son mucho menores que en las zonas rurales, donde se recibe el O₃ generado durante el transporte de masas de aire desde zonas urbanas e industriales y no hay presencia de NO local que lo consuma.

Por otra parte, en el resto de las estaciones las concentraciones han aumentado, **pasando de valores cercanos a 45 µg/m³ a valores de hasta 65 µg/m³, aumentando sus concentraciones** aproximadamente un **30 %**.

4.3.5 Material Particulado

a) PM₁₀

En este apartado se muestra la evolución del PM_{10} a lo largo de los años 2002-2019. La Figura 14 representa la evolución de las medias anuales de este contaminante en las estaciones agrupadas por tipo:

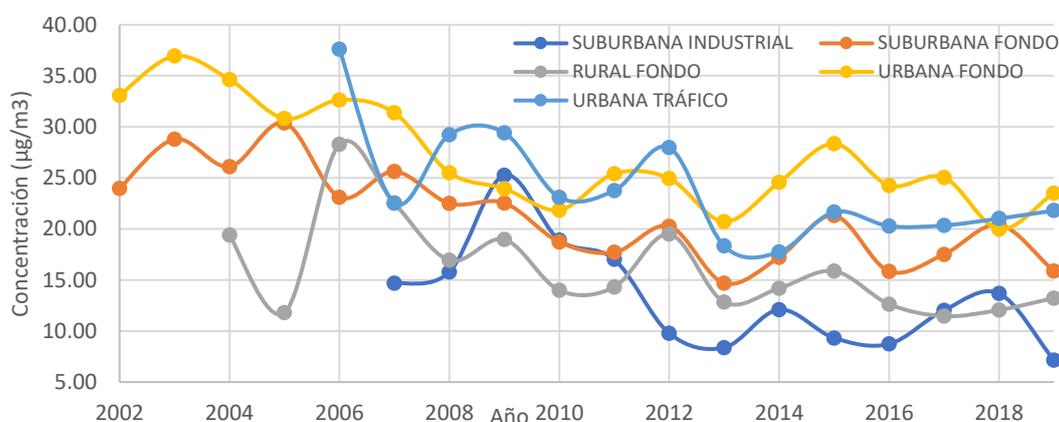


Figura 14. Evolución de las medias anuales de PM_{10} (2002-2019) por tipo de estación.

Se observa cómo en 2013 la tendencia descendente ya no es tan evidente, con incrementos en todos los tipos de estaciones, aunque más acusadas en el caso de las estaciones tipo *suburbana fondo*, *urbana fondo* y *urbana tráfico*, **llegando a valores de hasta $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$** . Las estaciones *rural fondo* y *urbana tráfico* presentan una tendencia ascendente desde el 2016.

b) $PM_{2,5}$

Para el material particulado $PM_{2,5}$ se muestra la evolución a lo largo de los años 2003-2019. La Figura 15 representa la evolución de las medias anuales de este contaminante de las estaciones que presentan valores de $PM_{2,5}$, agrupadas por tipo de estación:

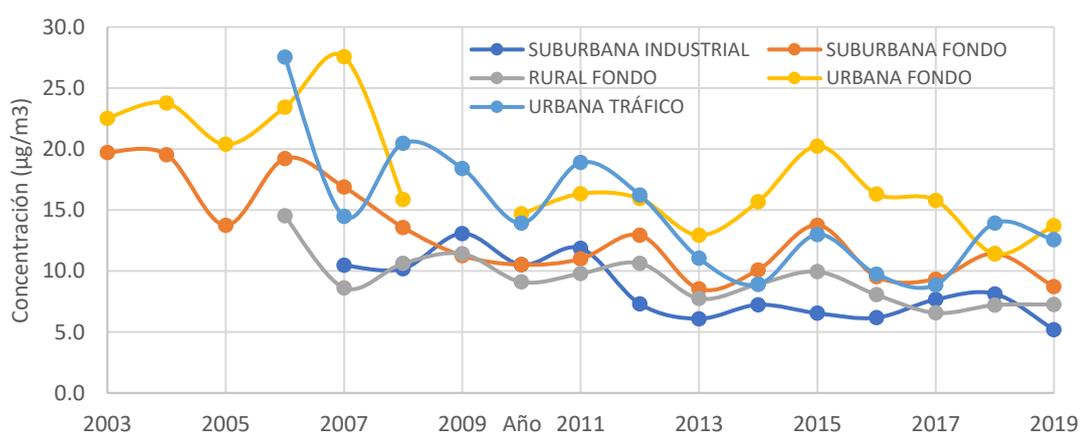


Figura 15. Evolución de las medias anuales de $PM_{2,5}$ (2003-2019) por tipo de estación.

Se observa que a lo largo del periodo considerado los valores han seguido una tendencia muy similar a la del PM_{10} en todas las estaciones, a pesar de los repentes

experimentados en 2015 y 2018 en la mayoría de las estaciones. Estos repuntes pueden deberse a intrusiones y tormentas de arena, muy frecuentes en la zona mediterránea.

Por otra parte, las reducciones del material particulado pueden deberse a las nuevas tecnologías implantadas, por ejemplo, en el sector industrial, como son los filtros, lavadores de gases y precipitadores electrostáticos, que controlan y reducen las emisiones de partículas y gases.

4.3.6 Metales e hidrocarburos

Las mediciones de metales e hidrocarburos son escasas y existen pocas estaciones con valores de medición. Para el níquel, cadmio, arsénico y benzo(a)pireno en las estaciones *rural fondo* solo existen tres datos y son de la estación *Villar del Arzobispo*; en la *suburbana fondo* hay mediciones en seis estaciones; en la *urbana fondo* solo hay datos en la estación *Valencia-Vivers* y para las estaciones clasificadas como *urbana tráfico* solo existen datos en *Burjassot-Facultats* y *Gandía*. El plomo presenta más mediciones que los anteriores contaminantes. En las estaciones de tipo *suburbana industrial* no existen datos para ninguno de los metales e hidrocarburos.

a) Níquel (Ni)

En este apartado se muestra la evolución del Ni a lo largo de los años 2005-2019. La Figura 16 representa la evolución de las medias anuales de este contaminante de las estaciones utilizadas en la evaluación que presentan mediciones, agrupadas por tipo de estación:

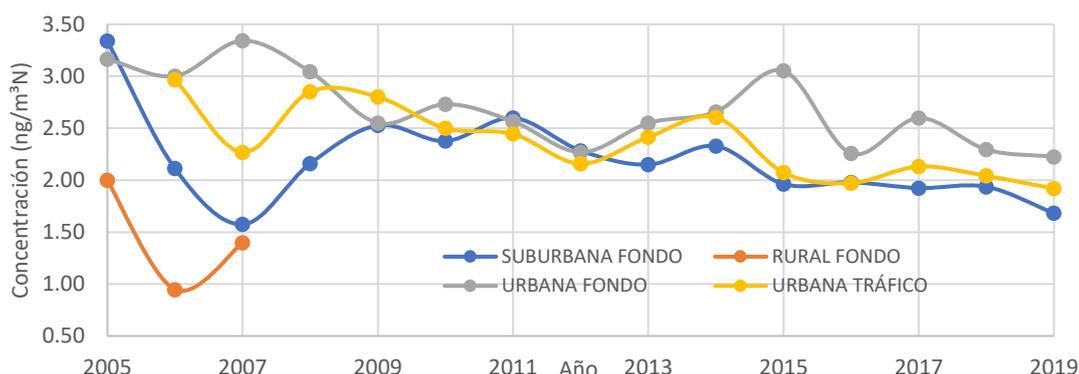


Figura 16. Evolución de las medias anuales de Ni (2005-2019) por tipo de estación.

Se observa cómo los niveles generales han seguido una tendencia descendente a lo largo del periodo considerado, incluso a pesar de los repuntes experimentados en diferentes años, como en 2015 para la *urbana fondo*. Las estaciones tipo *suburbana fondo* han presentado un mayor descenso, **pasando de los 3.30 ng/m³N a 1.70 ng/m³N, reduciendo un 50 % su concentración.**

b) Cadmio (Cd)

Para este metal pesado se muestra la evolución a lo largo de los años 2005-2019. La Figura 17 representa la evolución de las medias anuales de Cd agrupadas por tipo de estación:

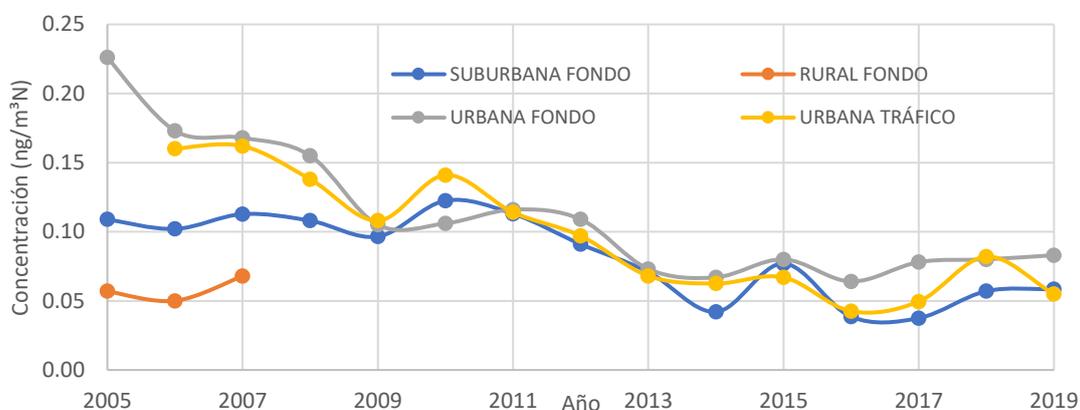


Figura 17. Evolución de las medias anuales de Cd (2005-2019) por tipo de estación.

Se aprecia que el fuerte descenso experimentado desde 2005 se invierte en el 2016, generando un ligero ascenso de las concentraciones en los últimos 4 años. A partir del 2009, todos los tipos de estaciones, excepto la *rural fondo* que no presenta datos, siguen una tendencia muy similar a lo largo del periodo considerado. En la estación *urbana fondo* el descenso del nivel de concentración es más notorio, **reduciéndola en un 65 %** frente a una **reducción del 45 %** correspondiente a la *suburbana fondo*.

c) Arsénico (As)

En este apartado se muestra la evolución del As a lo largo de los años 2005-2019. La Figura 18 representa la evolución de las medias anuales de este contaminante agrupadas por tipo de estación:

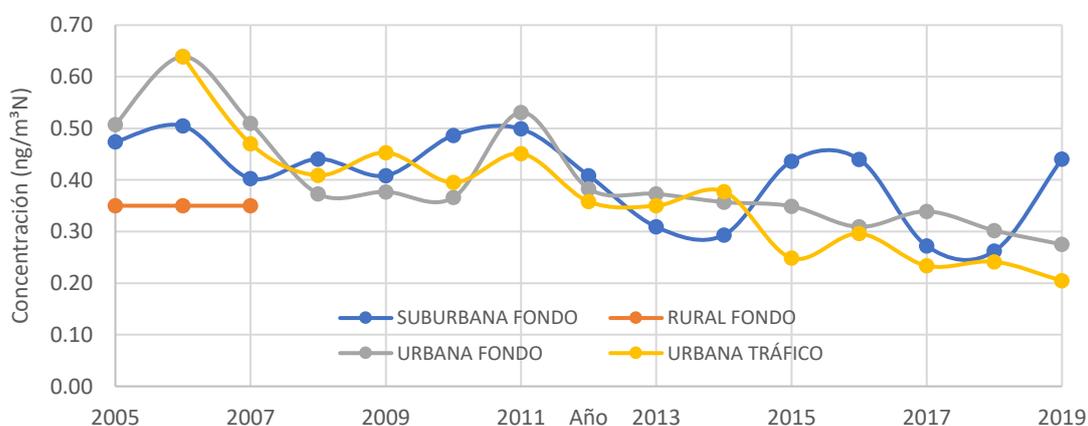


Figura 18. Evolución de las medias anuales de As (2005-2019) por tipo de estación.

Se observa cómo existe una tendencia descendente en todas las estaciones con algunos repuntes generalizados en 2006 y 2011 y en 2015, 2016 y 2019 en la *suburbana fondo*. Esta estación pasa de tener en el **primer año un valor de concentración de 0.50 ng/m³N a 0.44 ng/m³N**, por lo que no se percibe una reducción significativa. La de tipo *rural fondo* solo presenta valores del 2005 al 2007 y además son los mismos en todos ellos, por lo que no es muy representativa a lo largo del periodo.

d) Plomo (Pb)

Para este metal pesado se muestra la evolución a lo largo de los años 1994-2019. La Figura 19 representa la evolución de las medias anuales de Pb agrupadas por tipo de estación:

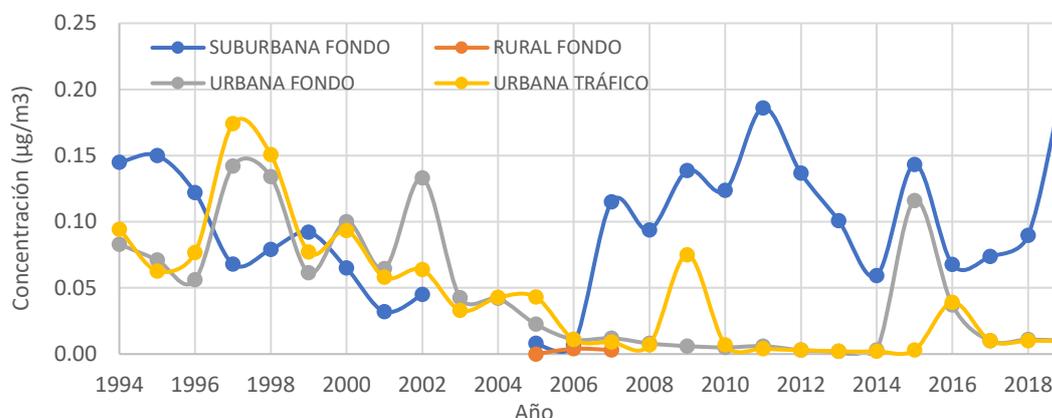


Figura 19. Evolución de las medias anuales de Pb (1994-2019) por tipo de estación.

A partir del 2006, en las estaciones de tipo *suburbana fondo* aumentan considerablemente las concentraciones, esto se debe concretamente a los elevados valores de contaminación de la estación *Paterna CEAM*. Estas siglas hacen referencia al Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, ubicado en el Parque Tecnológico de Paterna. Los elevados valores de plomo pueden deberse a la casuística de la zona, ya que se encuentra en un polígono industrial cercano a la CV-35, carretera muy transitada. **Este tipo de estación pasa de tener en su primer año una concentración de 0.15 µg/m³N a 0.21 µg/m³N en 2019, aumentando en un 30 %.**

Para el resto de tipo de estaciones, la tendencia es a la baja, llegando a valores muy cercanos a cero, exceptuando algunos repuntes como en 2009 y 2016 para la *urbana tráfico* y en 2015 para la *urbana fondo* y la *suburbana fondo*.

Las reducciones de los metales estudiados pueden deberse a su menor presencia en combustibles, como el Pb, que ha sido eliminado de la gasolina y también por la menor presencia de metales en la industria.

e) Benzo(a)Pireno (BaP)

En este apartado se muestra la evolución del BaP a lo largo de los años 2005-2019. La Figura 20 representa la evolución de las medias anuales de este contaminante agrupadas por tipo de estación:

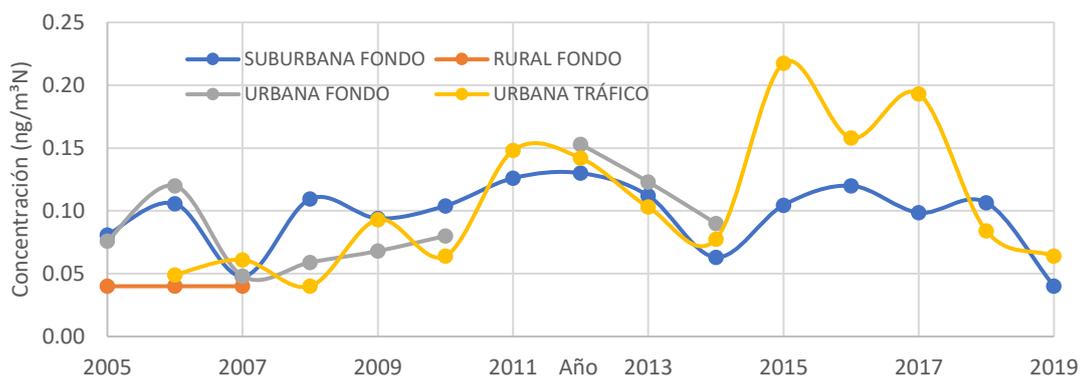


Figura 20. Evolución de las medias anuales de BaP (2005-2019) por tipo de estación.

Se puede observar que la tendencia que presenta este compuesto para todas las tipologías, exceptuando la *rural fondo*, es ascendente, aunque a partir del 2016 se observa un cambio de tendencia y parece que los valores empiezan a descender. **En las estaciones tipo *urbana fondo* el valor de concentración pasa de ser 0.05 ng/m³N en 2006 a 0.06 ng/m³N en 2019, aunque este aumento no es muy pronunciado, la concentración se ha elevado un 20 %, llegando a valores de hasta 0.22 ng/m³N, aumento producido posiblemente por los vehículos**

4.4 Niveles de fondo

En este proyecto, el total de estaciones de tipo *rural fondo* en las que se pueden sentar las bases para definir los niveles de fondo son tres: *Algar de Palancia*, *Cortes de Pallás* y *Villar del Arzobispo*. En el caso de *Cortes de Pallás*, al presentar datos solamente de O_3 , y puesto que para los contaminantes secundarios no se pueden establecer niveles de fondo, no se tiene en consideración.

4.4.1 Algar de Palancia

Algar de Palancia es el municipio que presenta la estación de medición más al norte de la provincia de Valencia y se encuentra en un camino rural junto al río Palancia. Los contaminantes que se utilizan para realizar el análisis son SO_2 , CO, $PM_{2.5}$ y PM_{10} , desde el año 2012 hasta el 2019. La Tabla 19 muestra los histogramas y percentiles correspondientes a las concentraciones diarias de los contaminantes seleccionados. Asimismo, se han ajustado los datos a dos distribuciones, por un lado, a la distribución normal como referencia y, por otro, a la mejor distribución obtenida (con mayor p-valor):

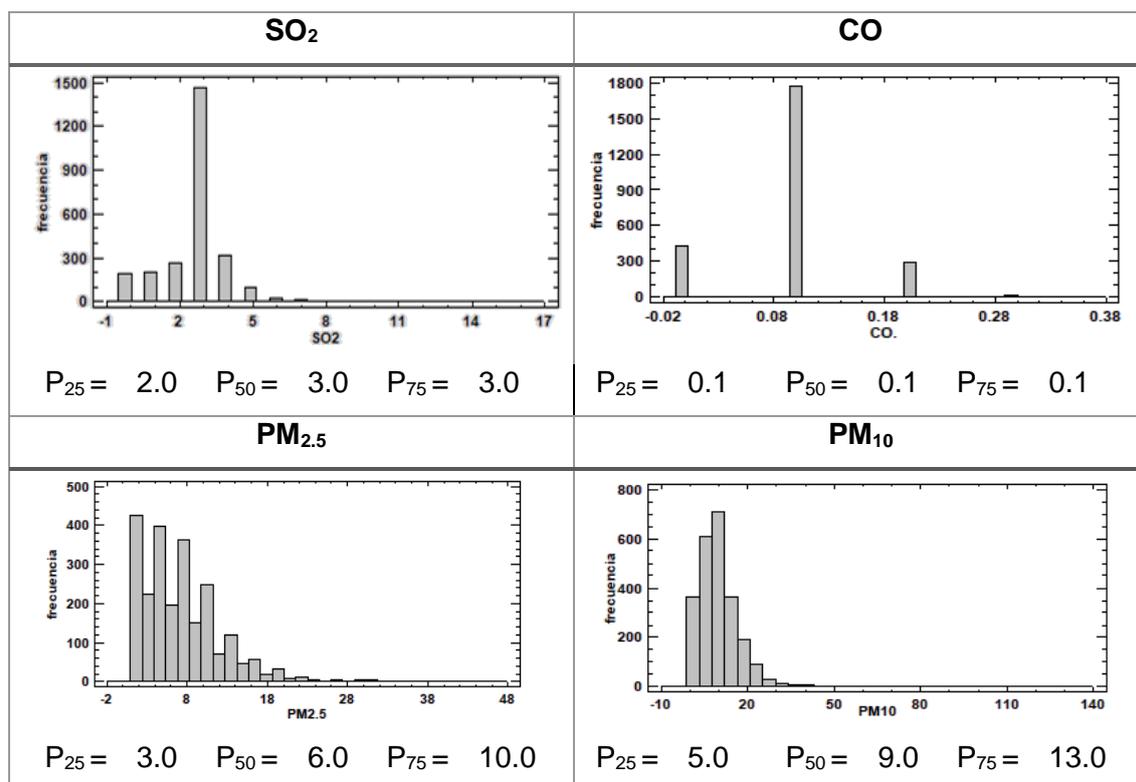


Tabla 19. Histograma y percentiles de SO_2 , CO, $PM_{2.5}$ y PM_{10} de Algar de Palancia para los niveles de fondo.

En la anterior tabla se puede observar que en el caso del SO₂ la mayoría de los valores tienen una concentración de 3 µg/m³ y presentan una baja dispersión. En el caso del CO la mayor parte de los valores presentan una concentración de 0.1 mg/m³, aunque también se encuentran concentraciones cercanas a 0 y a 0.2 mg/m³. Para el PM_{2.5} casi la totalidad de los valores se encuentran concentrados entre 1 y 12 µg/m³, con una media de 6 µg/m³. Con respecto al PM₁₀, los valores más comunes se encuentran entre 1 y 20 µg/m³ con una media de 9 µg/m³.

A pesar de cierta semejanza de algunos histogramas a las distribuciones mostradas, los p-valor obtenidos están por debajo de 0,05 que indicaría que el contaminante no proviene de la distribución dada con 95% de confianza.

En este análisis, también se han extraído los intervalos de confianza para la media de la población estadística de la que provienen las muestras. Este intervalo asume que dicha población puede representarse por la distribución normal comportamiento que, como se observa en la Tabla 19, no siempre ocurre; no obstante, el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto [16]. Por ello, mostramos en las Tabla 20 los intervalos de confianza del 95% para la media de la población de Algar de Palancia:

SO₂	CO	PM_{2.5}	PM₁₀
µg/m ³	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
2.80 ± 0.05	0.096 ± 0.002	7.08 ± 0.20	10.00 ± 0.29

Tabla 20. Resultados de los intervalos de confianza del 95 % para la media de la población de Algar de Palancia.

4.4.2 Villar del Arzobispo

La estación presente en *Villar del Arzobispo* se sitúa al noroeste de la provincia y se encuentra alejada del municipio, en plena zona rural. Esta estación es bastante completa y presenta datos de los contaminantes SO₂, CO, PM_{2.5}, PM₁₀, Ni, Cd, As, Pb y BaP, desde el año 2004 hasta 2019. La Tabla 21 muestra los histogramas y percentiles correspondientes a las concentraciones diarias de los contaminantes seleccionados. Asimismo, se han ajustado los datos a dos distribuciones, por un lado, a la distribución normal como referencia y, por otro, a la mejor distribución obtenida (con mayor p-valor):

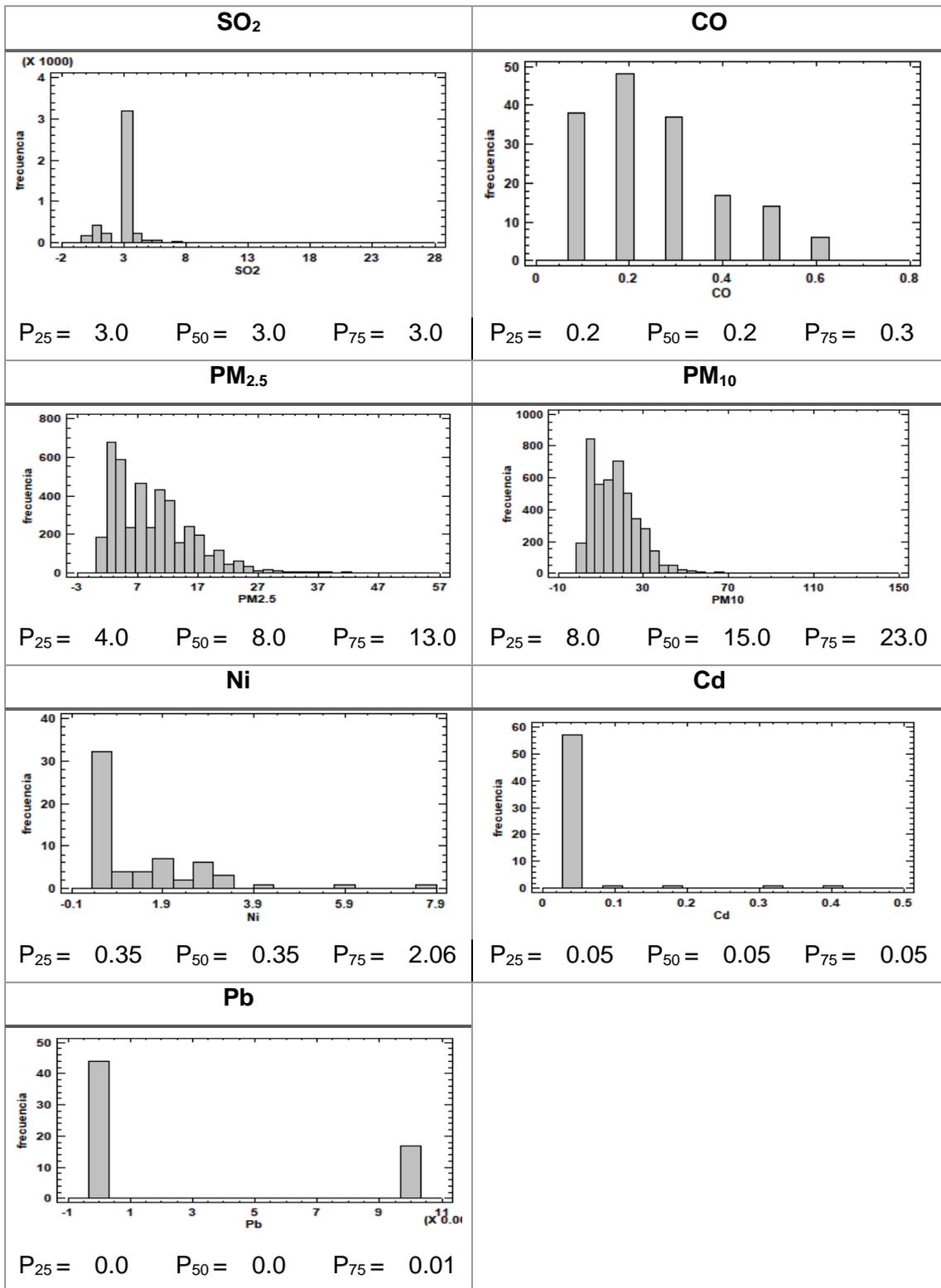


Tabla 21. Histogramas y percentiles de SO₂, CO, PM_{2.5}, PM₁₀, Ni, Cd y Pb de Villar del Arzobispo para los niveles de fondo.

En la anterior tabla se puede observar que en el caso del SO₂ la mayoría de los valores tienen una concentración de 3 µg/m³, al igual que en la otra estación. Para CO la mayor parte de los valores se encuentran entre de 0.1 y 0.3 mg/m³ y, en menor medida,

presenta concentraciones entre 0.4 y 0.6 mg/m³. Para el PM_{2.5}, prácticamente la totalidad de los valores se encuentran concentrados entre 1 y 17 µg/m³, con una media de 8 µg/m³. Con respecto al PM₁₀ ocurre de manera similar al anterior contaminante, los valores más comunes se concentran entre 1 y 30 µg/m³ con una media de 15 µg/m³, mostrando una distribución bastante gaussiana. En Ni presenta casi todos los valores muy cercanos a 0 ng/m³N con una media de 0.35 ng/m³N. Para el Cd ocurre de forma similar que en el anterior metal con la mayoría de sus valores muy cercanos a 0 ng/m³N y una media de 0.05 ng/m³N. Las concentraciones de Pb son muy bajas, predominando valores muy cercanos a 0 µg/m³, con algunos valores alrededor de los 10 µg/m³ pero estadísticamente poco significativos.

Al igual que en *Algas de Palancia*, a pesar de cierta semejanza de algunos histogramas a las distribuciones mostradas, los p-valor obtenidos están por debajo de 0,05 que indicaría que el contaminante no proviene de la distribución dada con 95% de confianza.

No se puede realizar el análisis estadístico para el As y el BaP ya que todos sus datos son iguales entre sí.

Los intervalos de confianza para la media de estos contaminantes se observan en la Tabla 22:

SO₂	CO	PM_{2.5}	PM₁₀	Ni	Cd	Pb
µg/m ³	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ng/m ³ N	ng/m ³ N	µg/m ³
2.81 ± 0.03	0.26 ± 0.02	9.50 ± 0.20	16.62 ± 0.33	1.38 ± 0.37	0.06 ± 0.01	0.003 ± 0.001

Tabla 22. Resultados de los intervalos de confianza del 95 % para la media de la población de Villar del Arzobispo.

Otra alternativa para establecer los niveles de fondo es calcular el valor promedio de las concentraciones de las dos estaciones junto con la desviación típica. Por lo tanto, tenemos por una parte los intervalos de confianza de los contaminantes y sus medias. Con estos datos, se lleva a cabo una media de los intervalos de confianza de ambas estaciones para cada contaminante.

La Tabla 23 agrupa los valores de las medias de las dos estaciones y la media de los intervalos de confianza para cada contaminante:

SO₂	CO	PM_{2.5}	PM₁₀	Ni	Cd	As	Pb	BaP
µg/m ³	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ng/m ³ N	ng/m ³ N	ng/m ³ N	µg/m ³	ng/m ³ N

$\bar{x} \pm \sigma$	3.08 ± 0.94	0.15 ± 0.08	9.31 ± 5.51	16.12 ± 8.67	1.45 ± 1.54	0.06 ± 0.03	0.35 ± 0.00	0.002 ± 0.003	0.04 ± 0.00
\bar{x} de IC	2.81 ± 0.04	0.18 ± 0.01	8.29 ± 0.20	13.31 ± 0.31	1.38 ± 0.37	0.06 ± 0.01	-	0.003 ± 0.001	-

Tabla 23. Comparación entre los niveles de fondo obtenidos a partir de diversos métodos establecidos a partir de las estaciones rurales de fondo (2004-2019).

Se considera más fiable establecer los niveles de fondo a partir de los valores obtenidos del intervalo de confianza. Por lo tanto, estos valores son los niveles definitivos, excepto para el As y BaP, para estos dos contaminantes se escoge la media de las dos estaciones, ya que no se les ha podido realizar análisis estadístico.

4.5 Relación de contaminantes con la localización

En este apartado se pretende mostrar de manera más visual las zonas dónde las estaciones presentan mayor o menor concentración para cada contaminante, permitiendo interpretar la posible relación entre los niveles contaminantes y la localización.

4.5.1 Dióxido de azufre (SO₂)

La Figura 21 muestra las concentraciones de SO₂ a nivel territorial para cada una de las estaciones:

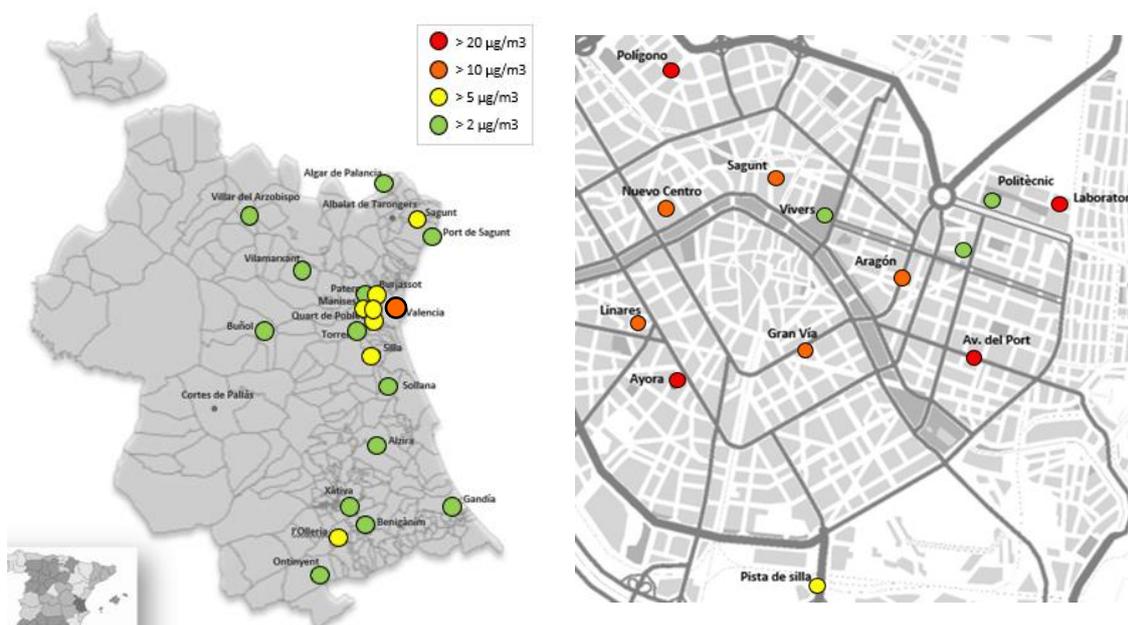


Figura 21. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de SO₂.

Se puede observar que, a nivel provincial, los valores se concentran en las zonas más urbanizadas, como son Valencia y su área metropolitana. Aunque también se observa que en las estaciones de Ollería y Sagunt las concentraciones superan los 5 µg/m³, posiblemente debido a una mayor actividad industrial, aunque deberían estudiarse con mayor detalle estos casos particulares. Generalmente, en la zona de la ciudad de Valencia las concentraciones son mucho más elevadas, a excepción de algunos puntos que se corresponden con zonas de mayor vegetación, como son Viveros, Blasco Ibáñez y el Politécnico.

4.5.2 Monóxido de carbono (CO)

La Figura 22 muestra las concentraciones de CO a nivel territorial para cada una de las estaciones:

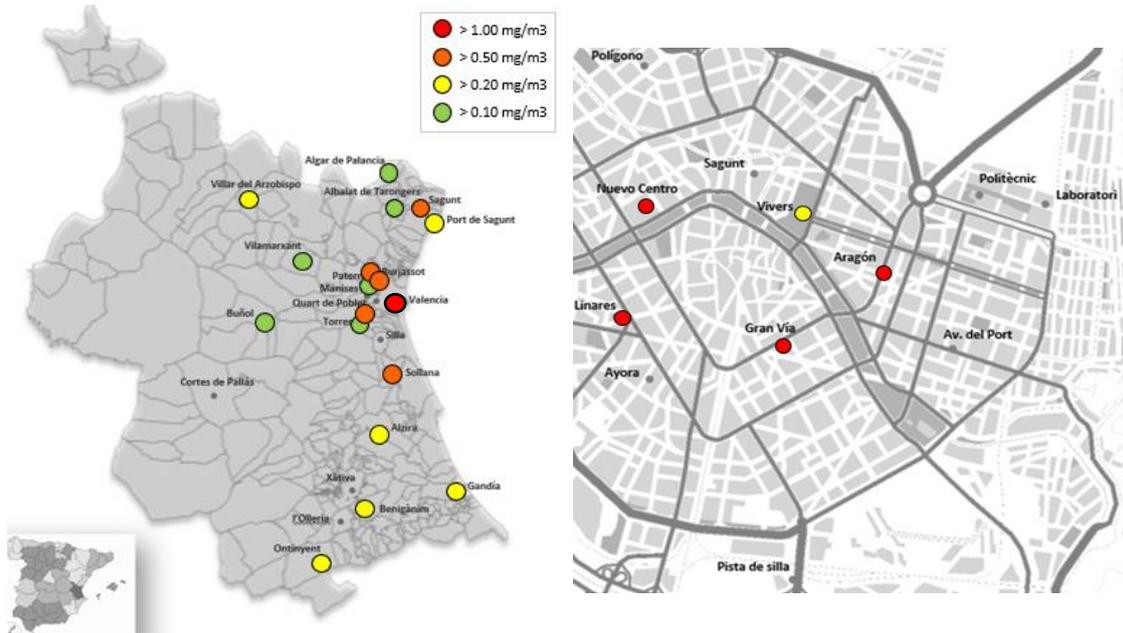


Figura 22. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de CO.

En este caso la distribución no es tan clara como con el SO₂, aunque en la ciudad de Valencia, excepto la zona verde (Vivers), y alrededores se concentran los niveles más elevados. Si bien las zonas más cercanas a la costa generalmente presentan mayor contaminación, no existe una clara distribución, como en el caso de Villar del Arzobispo y Ontinyent, que son zonas de interior y no presentan valores tan bajos como cabría esperar. De hecho, Paterna presenta valores por encima de 0.5 mg/m³ y zonas muy cercanas como Manises presentan concentraciones menores.

4.5.3 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

La Figura 23 muestra las concentraciones de NO₂ a nivel territorial para cada una de las estaciones:

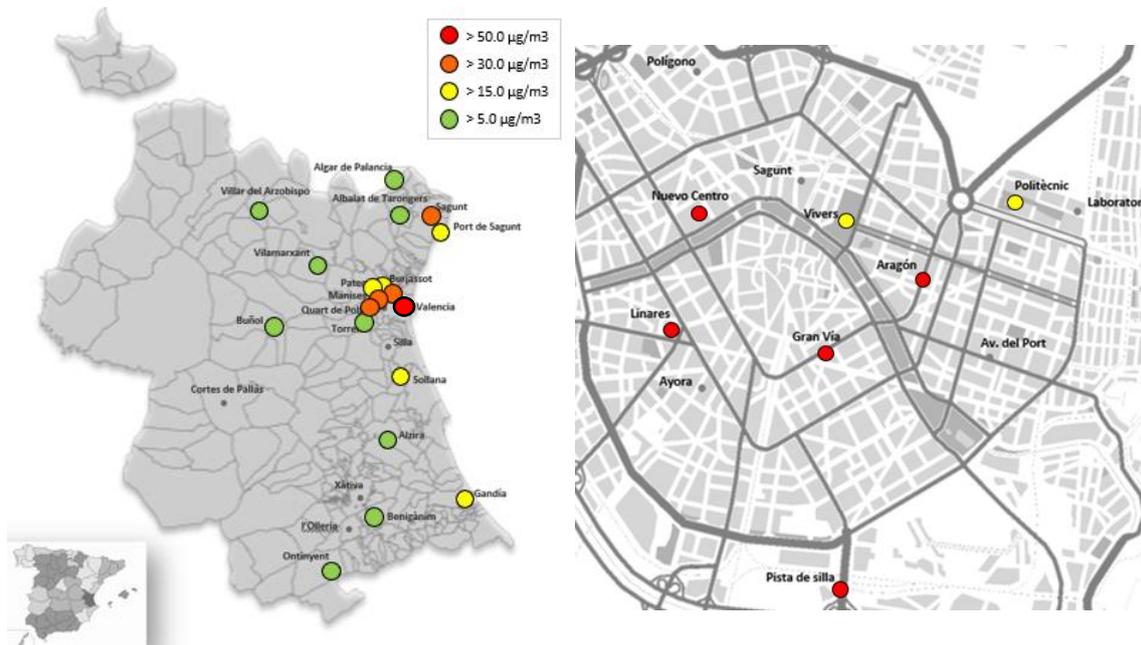


Figura 23. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de NO₂.

Como se puede apreciar para el NO₂ las zonas con mayor contaminación son las zonas metropolitanas de Valencia y las zonas costeras, aunando las mayores concentraciones en la ciudad de Valencia, donde la mayoría de las estaciones tienen valores mayores a 50 µg/m³, con ligera disminución de los valores en zonas con mayor vegetación.

4.5.4 Óxidos de nitrógeno (NO_x)

La Figura 24 muestra las concentraciones de NO_x a nivel territorial para cada una de las estaciones:

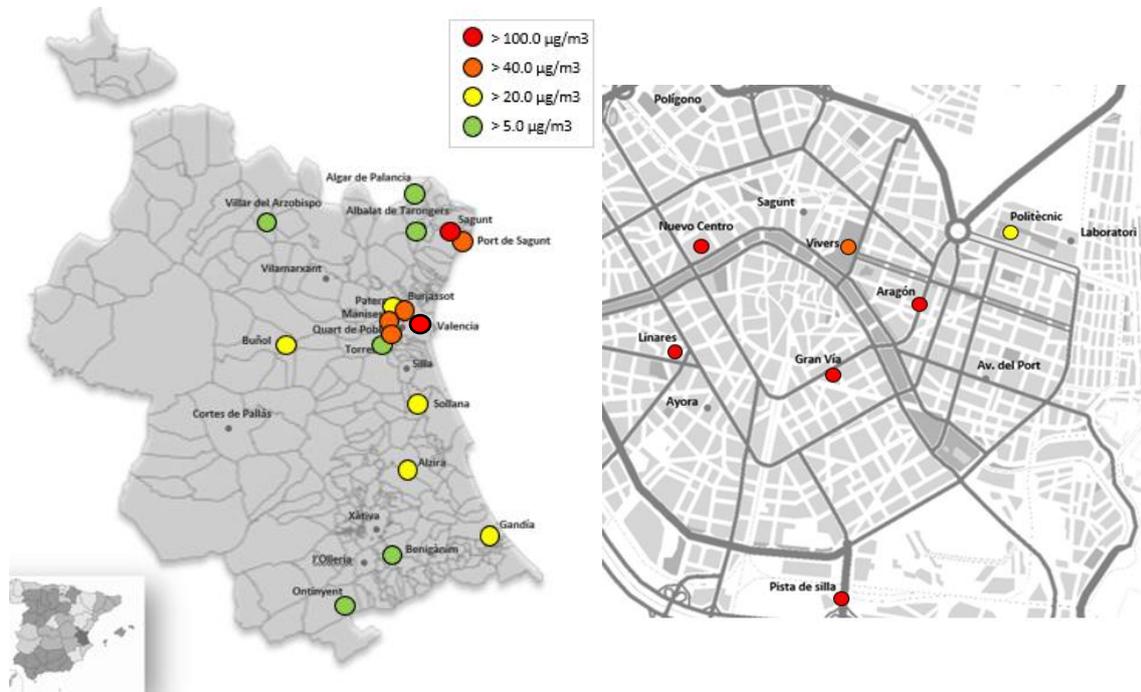


Figura 24. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de NO_x.

En el caso del NO_x, las concentraciones se distribuyen de manera muy similar al NO₂, siendo las áreas más urbanizadas las que presentan mayor nivel de contaminación junto a las zonas costeras. Existen excepciones como Buñol que, siendo una zona de interior, presenta valores mayores a 20 µg/m³.

4.5.5 Ozono (O₃)

La Figura 25 muestra las concentraciones de O₃ a nivel territorial para cada una de las estaciones:

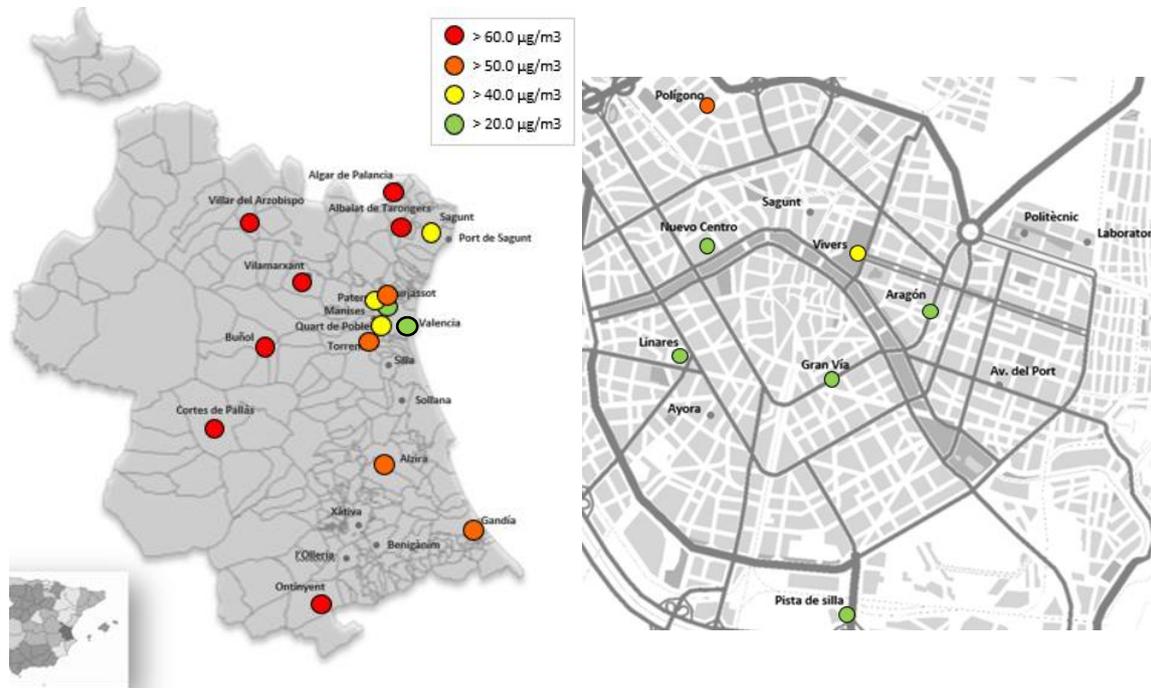


Figura 25. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de O₃.

En el caso del O₃ las mayores concentraciones son aquellas más alejadas de las zonas más urbanizadas, lo cual tiene sentido ya que el ozono se forma a partir de contaminantes primarios (óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre) generados principalmente en los procesos de combustión de vehículos, reaccionando con la radiación solar incidente. Por lo tanto, observamos que en la ciudad de Valencia los valores son mucho más bajos que en las zonas rurales y con elevada vegetación, al contrario que en los contaminantes anteriores.

El material particulado, tanto el PM_{2.5} como el PM₁₀, no presenta una clara relación geográfica con el nivel de contaminación. Eso se puede observar en estaciones como Gandía y Valencia en el caso del PM_{2.5}, ambas tienen valores altos estando en la zona costera, pero también presentan elevadas concentraciones zona más al interior como Benigànim. En el caso del PM₁₀ ocurre de manera similar, como el caso de Benigànim, que es una zona más rural y presenta concentraciones por encima de 25 µg/m³.

4.6 Relación entre contaminantes

Para determinar las posibles correlaciones entre contaminantes se han seleccionado dos estaciones que según su tipología puedan aportar diferente información: *Valencia - Aragón* (urbana) y *Villar del Arzobispo* (rural). Los contaminantes seleccionados son aquellos que con más frecuencia han sido medidos en las estaciones de control: SO₂, CO, NO₂, NO_x, O₃, PM_{2.5} y PM₁₀.

En primer lugar, se ha realizado un estudio de análisis multivariable, diseñado para resumir grandes conjuntos de variables ofreciendo calcular estadísticos de resumen para cada variable, así como las varianzas y correlaciones entre las variables [17]. Las gráficas resultantes incluyen, entre otras posibilidades, una matriz de dispersión que nos permite visualizar si puede existir algún modelo de regresión múltiple entre variables.

En segundo lugar, una vez visualizadas las matrices de dispersión y la estadística resultante del análisis multivariable, dado que las correlaciones entre algunos de los contaminantes fueron relativamente elevadas sugiriendo algunos modelos de ajuste, para cada par de contaminantes, se realizó un estudio de regresión de los datos frente a un modelo lineal de tipo $y = a \cdot x + b$ como referencia [16]. En los siguientes apartados mostrados el coeficiente de regresión entre cada par de variables considerando un modelo lineal.

Adicionalmente, la regresión entre cada par de contaminantes se ha realizado con otros modelos de ajuste mostrando, entre paréntesis, el coeficiente de regresión del mejor ajuste obtenido, para tener una estimación de la mejora esperada con otros modelos (no se ha considerado necesario incluir la ecuación del modelo con mejor ajuste dado que la idea era contrastar el coeficiente de regresión del modelo lineal con la mayor regresión a la que se podría llegar con otros modelos).

4.6.1 Estación urbana: Valencia – Aragón

La Tabla 24 muestra los coeficientes de regresión del modelo lineal y, entre paréntesis, el obtenido con el mejor ajuste posible:

	SO ₂	CO	NO ₂	NO _x	O ₃	PM _{2,5}	PM ₁₀
SO ₂	-	0,67 (0,74)	0,03 (0,28)	0,07 (0,36)	0,39 (0,50)	0,46 (0,49)	0,51 (0,52)
CO		-	0,09 (0,10)	0,27 (0,32)	0,50 (0,54)	-	-
NO ₂			-	0,79 (0,84)	0,16 (0,19)	0,23 (0,27)	0,42 (0,43)
NO _x				-	0,38 (0,39)	0,25 (0,27)	0,25 (0,30)
O ₃					-	0,40 (0,50)	0,34 (0,45)
PM _{2,5}						-	0,85 (0,88)
PM ₁₀							-

Tabla 24. Coeficientes de correlación entre cada par de contaminantes para Valencia – Aragón considerando un modelo de ajuste lineal y, entre paréntesis, el coeficiente de correlación del mejor ajuste conseguido con modelos alternativos.

Vemos que los pares de contaminantes con mayor correlación son: SO₂–CO, NO₂–NO_x y PM_{2,5}–PM₁₀. La relación entre SO₂–CO puede deberse a que ambos proceden de la combustión de combustibles fósiles, por lo tanto, cuando uno de ellos presenta elevadas concentraciones el otro también las tiene.

La Figura 28 muestra la gráfica de dispersión entre los pares de contaminantes NO₂–NO_x y PM_{2,5}–PM₁₀, que presenta mejor correlación, y nos motivó a realizar el estudio de regresión:

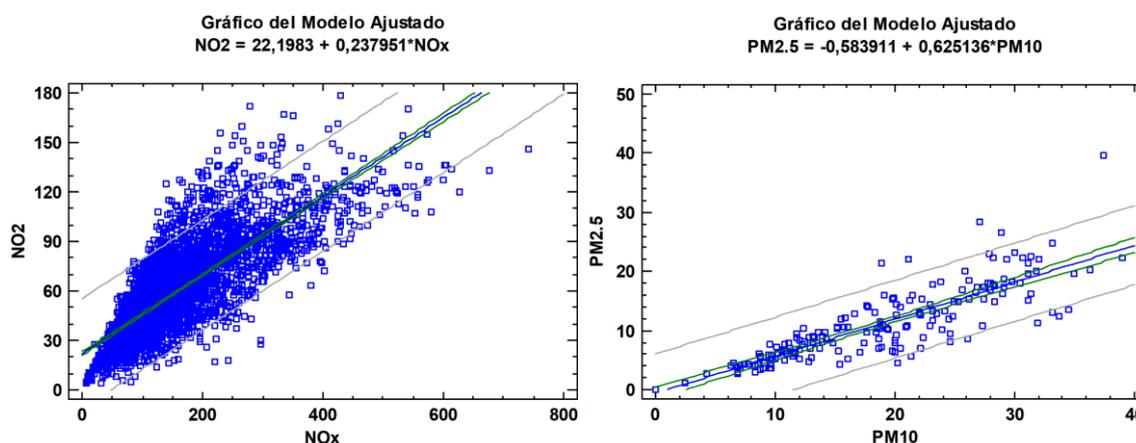


Figura 28. Gráficas de dispersión entre contaminantes de Valencia – Aragón con mejor coeficiente de correlación. A la izquierda, entre NO₂ y NO_x. A la derecha, entre PM_{2,5} y PM₁₀.

4.6.2 Estación rural: Villar del Arzobispo

La Tabla 25 muestra los coeficientes de regresión del modelo lineal y, entre paréntesis, el obtenido con el mejor ajuste posible:

	SO ₂	CO	NO ₂	NO _x	O ₃	PM _{2,5}	PM ₁₀
SO ₂	-	0,14 (0,17)	0,19 (0,26)	0,19 (0,23)	0,01 (0,02)	0,02 (0,03)	0,01 (0,02)
CO		-	0,12 (0,16)	0,09 (0,10)	0,21 (0,25)	0,36 (0,49)	0,26 (0,33)
NO ₂			-	0,91	0,23 (0,35)	0,30 (0,32)	0,28 (0,31)
NO _x				-	0,20 (0,29)	0,26 (0,27)	0,24 (0,26)
O ₃					-	0,08 (0,18)	0,04 (0,07)
PM _{2,5}						-	0,86 (0,90)
PM ₁₀							-

Tabla 25. Coeficientes de correlación entre cada par de contaminantes para Villar del Arzobispo considerando un modelo de ajuste lineal y, entre paréntesis, el coeficiente de correlación del mejor ajuste conseguido con modelos alternativos.

Vemos que los pares de contaminantes con mayor correlación son: NO₂–NO_x y PM_{2,5}–PM₁₀, coincidentes con el caso anterior. No obstante, el par SO₂–CO presenta una correlación bastante baja que puede deberse a que, para esta estación, apenas existen días de lecturas de CO, con lo que los resultados de la regresión no son fiables.

La Figura 29 muestra la gráfica de dispersión entre los pares de contaminantes NO₂–NO_x y PM_{2,5}–PM₁₀.

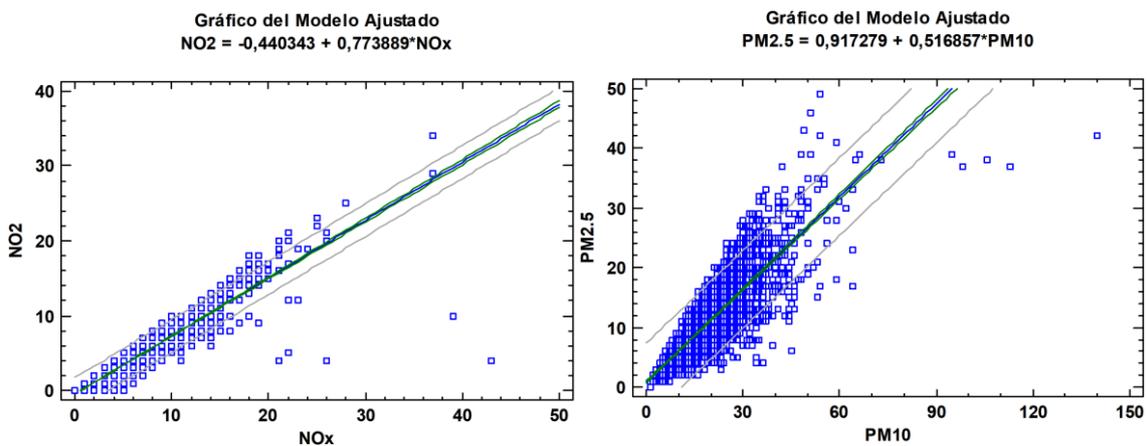


Figura 29. Gráficas de dispersión entre contaminantes de Villar del Arzobispo con mejor coeficiente de correlación. A la izquierda, entre NO₂ y NO_x. A la derecha, entre PM_{2,5} y PM₁₀.

4.7 Relación de los contaminantes con las variables meteorológicas

Para realizar el estudio de relación entre contaminantes y variables meteorológicas, únicamente podíamos considerar estaciones que registraran ambos conjuntos de datos. Al igual que se ha visto en los anteriores apartados, los contaminantes bajo estudio son el SO₂, CO, NO₂, NO_x, O₃, PM_{2.5} y PM₁₀, mientras que las variables meteorológicas son la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad relativa, la presión, la radiación solar y la precipitación.

Con esta condición, partíamos de la circunstancia de que el número de estaciones que registraran ambos conjuntos de datos era mucho menor (en total 7 de las 40 estaciones). No obstante, de entre estas estaciones, se identificaron las siguientes tres por presentar características geográficas y meteorológicas distintas: *Villar del Arzobispo* (estación rural con temperatura y humedad relativa relativamente bajas, y velocidades del viento moderadas), *Sagunt Port* (estación cerca de la costa, con temperatura y humedad relativa mayores, y con vientos algo menores) y *Ontinyent 2* (estación de interior, con temperaturas algo más extremas y en el que vimos mayores correlaciones de entre todas las estaciones). A continuación, mostramos las principales características de estas estaciones:

		Veloc [m/s]	Direc [°]	Temp [°C]	H.Rel [%]	Pres. [mbar]	R.Sol. [W/m ²]	Precip [l/m ²]
Villar del Arzobispo	Media	3	159	17	60	982	191	1
	Desviación	2	91	6	14	7	89	9
	Mín.	0	1	1	18	939	1	0
	Máx.	15	360	32	96	996	406	462
Sagunt Port	media	1	180	19	75	-	172	2
	Desviación	1	119	6	15	-	86	28
	Mín.	0	0	4	10	-	0	0
	Máx.	6	360	34	108	-	1058	433
Ontinyent 2	Media	2	194	17	63	935	163	1
	Desviación	2	95	7	16	140	97	11
	Mín.	0	2	0	1	0	0	0
	Máx.	12	359	34	100	974	945	300

Tabla 26. Características globales de las tres estaciones consideradas para estudiar la relación entre los contaminantes y las variables meteorológicas.

En este caso, se procedió de forma análoga al apartado 4.6, realizando un estudio de análisis multivariable. En este caso, dado que las gráficas en forma de matrices de

dispersión no sugirieron modelos de regresión, se decidió mostrar los valores de la correlación entre cada contaminante y variable meteorológica.

4.7.1 Estación rural: Villar del Arzobispo

La Tabla 27 muestra el coeficiente de correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación de Villar del Arzobispo:

	Veloc.	Direc.	Temp.	H.Rel.	Pres.	R.Sol.	Precip.
SO₂	0,05	0,03	-0,06	0,02	-0,03	0,01	0,00
CO	-	-	-	-	-	-	-
NO₂	-0,33	-0,34	-0,02	0,15	0,24	0,06	-0,09
NO_x	-0,28	-0,30	-0,05	0,15	0,20	0,02	-0,07
O₃	0,18	-0,01	0,44	-0,40	-0,22	0,61	0,02
PM_{2,5}	-0,50	-0,51	0,25	0,42	0,22	0,11	-0,12
PM₁₀	-0,45	-0,46	0,41	0,10	0,24	0,28	-0,13

Tabla 27. Correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación Villar del Arzobispo.

Tal como se ha avanzado, los coeficientes de correlación son relativamente bajos en general, con algunas excepciones como el valor de 0,61 entre el O₃ y la radiación solar. Aunque presentan una correlación débil, mostrar que los contaminantes PM_{2,5} y PM₁₀ muestran unas correlaciones (en valor absoluto) entre 0.45 Y 0.55 con la dirección y velocidad del viento.

4.7.2 Estación costera: Sagunt Port

La Tabla 28 muestra el coeficiente de correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación de Sagunt Port:

	Veloc.	Direc.	Temp.	H.Rel.	Pres.	R.Sol.	Precip.
SO₂	-0,08	-0,19	-0,11	-0,21	-	0,04	0,05
CO	-0,30	-0,07	-0,67	-0,16	-	-0,52	0,10
NO₂	-0,30	-0,04	-0,47	-0,15	-	-0,43	0,19
NO_x	-0,24	-0,02	-0,46	-0,15	-	-0,40	0,13
O₃	0,34	0,05	0,44	-0,01	-	0,52	-0,09
PM_{2,5}	-	-	-	-	-	-	-
PM₁₀	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 28. Correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación Villar del Arzobispo.

En este caso, a pesar de que no teníamos valores de material particulado, encontramos cierta correlación entre los distintos contaminantes con la temperatura y la radiación solar, a excepción del SO₂.

4.7.3 Estación interior pero urbana: Ontinyent 2

La Tabla 29 muestra el coeficiente de correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación Ontinyent 2:

	Veloc.	Direc.	Temp.	H.Rel.	Pres.	R.Sol.	Precip.
SO₂	0,53	-0,01	0,41	-0,21	-0,60	0,29	0,05
CO	0,50	0,11	0,46	-0,20	-0,72	0,44	-0,08
NO₂	0,02	0,12	-0,17	0,12	-0,18	-0,14	-0,02
NO_x	0,51	0,11	0,31	-0,20	-0,70	0,30	-0,06
O₃	0,33	0,28	0,67	-0,56	-0,38	0,62	-0,32
PM_{2,5}	0,59	0,07	0,61	-0,30	-0,71	0,50	-0,02
PM₁₀	0,65	0,25	0,73	-0,50	-0,74	0,63	-0,10

Tabla 29. Correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación Villar del Arzobispo.

Esta estación la destacamos por obtener algunas correlaciones superiores a 0,7 que ocurren de algunos contaminantes con la presión, lo cual presenta a priori una difícil justificación. No obstante, también existen algunas correlaciones entre 0,4 y 0,7 entre algunos contaminantes y la temperatura o la velocidad del viento.

5 CONCLUSIONES

A raíz de los datos obtenidos de la RVVCCA y su análisis se pueden establecer una serie de conclusiones sobre la calidad del aire y los niveles de fondo en la Provincia de Valencia.

A partir de la información recopilada y los resultados obtenidos, se concluye:

- En **términos generales**, los niveles de contaminación se han reducido en todas las estaciones para todos los contaminantes desde el año 1994, a excepción del contaminante O₃, el cual presenta una tendencia ascendente a partir del año 2007 en todas las estaciones menos en las rurales, las cuales mantienen sus concentraciones altas a lo largo de todo el periodo de tiempo. Estos elevados valores son debidos a las emisiones de contaminantes procedentes de la combustión que, a causa de la dispersión, se adentran a zonas más alejadas de las áreas urbanas y reaccionan con la radiación solar generando O₃. También se ha observado un aumento en las concentraciones de BaP que han ido disminuyendo en los últimos 3 años.
- Según los **valores límite establecidos por la legislación vigente** y los resultados obtenidos a partir de las medias anuales, se determina que los contaminantes con mayores superaciones de estos límites son el SO₂, NO₂ y NO_x, principalmente durante los 15 primeros años de mediciones (1994 – 2009). Para el material particulado los límites se superan en diversos años, pero en muy pocas ocasiones y, para el CO, O₃, C₆H₆, los metales y el HAP, no se superan los niveles en ninguno de los años estudiados.
- En relación con la **contaminación por tipo de estación** se ha podido determinar que para el NO₂ y NO_x las tipologías que muestran mayores concentraciones son la urbana fondo, seguida por la urbana tráfico y en menor medida la suburbana fondo. Lo cual es coherente debido a las altas emisiones de estos compuestos en las zonas urbanas.

En el caso del CO todas presentan una distribución muy similar, aunque los primeros años destaca la *urbana fondo* con valores más elevados. Ocurre de manera análoga con el SO₂, aunque los niveles más altos se han observado en las estaciones de tipo *suburbana industrial*. Como se ha comentado anteriormente, en el O₃ las estaciones con mayores concentraciones son las rurales.

Los tipos de estaciones entre el material particulado PM_{2.5} y PM₁₀ presentan una evolución y niveles muy semejantes entre sí y para los metales e hidrocarburos también presentan mucha similitud entre ellas.

- Con respecto a **relación de contaminantes y localización**, se determina que en las zonas costeras y las áreas más urbanizadas las concentraciones de los contaminantes son mucho más elevadas que en el resto, a excepción del O₃ en las zonas rurales, en este caso las zonas menos pobladas son las que presentan mayores concentraciones. La relación entre localización y nivel de contaminación no es tan evidente en el caso del material particulado.

- En cuanto a los **niveles de fondo**, considerando como tales los obtenidos por las estaciones de *Villar del Arzobispo* y *Algar de Palancia*, se consideran estos valores los siguientes:

SO₂ = 2.81 ± 0.04 µg/m³; CO = 0.18 ± 0.01 mg/m³; PM_{2.5} = 8.29 ± 0.20 µg/m³; PM₁₀ = 13.31 ± 0.31 µg/m³; Ni = 1.38 ± 0.37 ng/m³N; Cd = 0.06 ± 0.01 ng/m³N; As = 0.35 ± 0.00 ng/m³N; Pb = 0.003 ± 0.001 µg/m³ y BaP = 0.04 ± 0.00 ng/m³N.

- En cuanto a la **relación entre contaminantes**, tanto en la estación urbana de *Villar del Arzobispo* como en la urbana *Valencia – Aragón*, se ha obtenido una relativamente fuerte correlación entre los pares de contaminantes PM_{2.5}-PM₁₀ y NO-NO_x de modo que, realizando un estudio de regresión lineal, los coeficientes de regresión se obtuvieron entre 0,8 y 0,9.

- En cuanto a la **relación entre contaminantes y variables meteorológicas**, después de estudiar la correlación entre estaciones con distintas características geográficas y meteorológicas, sólo se han podido observar algunas correcciones débiles diferentes según la estación, con la excepción de Ontinyent 2, con algunas correlaciones más elevadas, pero de difícil interpretación.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dispersión de los contaminantes en la atmósfera [3].	11
Figura 2. Mapa de la provincia de Valencia con las ubicaciones de las estaciones de medición (1994 – 2019).	23
Figura 3. Evolución de la concentración de SO ₂ en las estaciones situadas en la ciudad de Valencia que superan el nivel crítico anual (20 µg/m ³).	30
Figura 4. Evolución de la concentración de NO _x en las estaciones que superan el nivel crítico anual (35 µg/m ³).	31
Figura 5. Evolución de la concentración de NO _x en las estaciones situadas en la ciudad de Valencia que superan el nivel crítico anual (35 µg/m ³).	31
Figura 6. Evolución de la concentración de NO ₂ en las estaciones que superan el valor límite anual (40 µg/m ³).	32
Figura 7. Evolución de la concentración diaria de PM ₁₀ del año 2003 en la estación Valencia-Vivers que supera el valor límite diario (50 µg/m ³) en más de 35 ocasiones al año.	33
Figura 8. Evolución de la concentración de PM _{2,5} en las estaciones que superan el valor límite anual (25 µg/m ³).	34
Figura 9. Evolución de las medias anuales de SO ₂ (1994-2019) por tipo de estación.	35
Figura 10. Evolución de las medias anuales de CO (1994-2019) por tipo de estación.	36
Figura 11. Evolución de las medias anuales de NO ₂ (1994-2019) por tipo de estación.	37
Figura 12. Evolución de las medias anuales de NO _x (1994-2019) por tipo de estación.	37
Figura 13. Evolución de las medias anuales de O ₃ (1994-2019) por tipo de estación.	38
Figura 14. Evolución de las medias anuales de PM ₁₀ (2002-2019) por tipo de estación.	39
Figura 15. Evolución de las medias anuales de PM _{2,5} (2003-2019) por tipo de estación.	39
Figura 16. Evolución de las medias anuales de Ni (2005-2019) por tipo de estación.	40
Figura 17. Evolución de las medias anuales de Cd (2005-2019) por tipo de estación.	41
Figura 18. Evolución de las medias anuales de As (2005-2019) por tipo de estación.	42
Figura 19. Evolución de las medias anuales de Pb (1994-2019) por tipo de estación.	42
Figura 20. Evolución de las medias anuales de BaP (2005-2019) por tipo de estación.	43

Figura 21. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de SO ₂	49
Figura 22. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de CO.	50
Figura 23. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de NO ₂	51
Figura 24. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de NO _x	52
Figura 25. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de O ₃	53
Figura 26. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de PM _{2.5}	54
Figura 27. Mapa de la provincia y la ciudad de Valencia con las zonas con mayor y menor concentración de PM ₁₀	54
Figura 28. Gráficas de dispersión entre contaminantes de Valencia – Aragón con mejor coeficiente de correlación. A la izquierda, entre NO ₂ y NO _x . A la derecha, entre PM _{2,5} y PM ₁₀	56
Figura 29. Gráficas de dispersión entre contaminantes de Villar del Arzobispo con mejor coeficiente de correlación. A la izquierda, entre NO ₂ y NO _x . A la derecha, entre PM _{2,5} y PM ₁₀	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Gases encontrados en cantidades fijas y variables en el aire [1].....	7
Tabla 2. Número de estaciones y cantidad de datos utilizada.....	16
Tabla 3. Valor límite y nivel crítico de los niveles de inmisión para el SO ₂	18
Tabla 4. Valor límite para el NO ₂ y nivel crítico para el NO _x en los niveles de inmisión.	18
Tabla 5. Valor límite en los niveles de inmisión para el CO.....	18
Tabla 6. Valor objetivo y objetivo a largo plazo en los niveles de inmisión para el O ₃ . 19	
Tabla 7. Valor límite en los valores de inmisión para el benceno.	19
Tabla 8. Valores límite en los niveles de inmisión para el PM ₁₀	19
Tabla 9. Valores objetivo de As, Cd, Ni y BaP según los niveles de inmisión.	20
Tabla 10. Valor objetivo y valor límite de PM _{2,5} en los niveles de inmisión.	20
Tabla 11. Valor límite en los niveles de inmisión para el Pb.....	20
Tabla 12. Listado de estaciones de medición, rango de tiempo en el que presentan datos, los contaminantes y las variables meteorológicas.	23
Tabla 13. Listado de las estaciones según su tipología. Fuente: Direcció General de Qualitat i Educació Ambiental, GVA.....	25
Tabla 14. Estaciones que superan el nivel crítico anual (20 µg/m ³) de SO ₂ de 1994 a 2003.	26
Tabla 15. Estaciones que superan el valor límite (125 µg/m ³) de SO ₂ en más de tres ocasiones al año.....	27
Tabla 16. Estaciones que superan el nivel crítico (30 µg/m ³) para el NO _x de 1994 a 2019.	28
Tabla 17. Estaciones que superan el valor límite (40 µg/m ³) para el NO ₂ de 1994 a 2016.	29
Tabla 18. Estaciones que superan el valor límite (25 µg/m ³) para PM _{2,5} de 2003 a 2007.	29
Tabla 19. Histograma y percentiles de SO ₂ , CO, PM _{2,5} y PM ₁₀ de Algar de Palancia para los niveles de fondo.	44
Tabla 20. Resultados de los intervalos de confianza del 95 % para la media de la población de Algar de Palancia.....	45
Tabla 21. Histogramas y percentiles de SO ₂ , CO, PM _{2,5} , PM ₁₀ , Ni, Cd y Pb de Villar del Arzobispo para los niveles de fondo.	46
Tabla 22. Resultados de los intervalos de confianza del 95 % para la media de la población de Villar del Arzobispo.	47

Tabla 23. Comparación entre los niveles de fondo obtenidos a partir de diversos métodos establecidos a partir de las estaciones rurales de fondo (2004-2019).	48
Tabla 24. Coeficientes de correlación entre cada para de contaminantes para Valencia – Aragón considerando un modelo de ajuste lineal y, entre paréntesis, el coeficiente de correlación del mejor ajuste conseguido con modelos alternativos.	56
Tabla 25. Coeficientes de correlación entre cada para de contaminantes para Villar del Arzobispo considerando un modelo de ajuste lineal y, entre paréntesis, el coeficiente de correlación del mejor ajuste conseguido con modelos alternativos.	57
Tabla 26. Características globales de las tres estaciones consideradas para estudiar la relación entre los contaminantes y las variables meteorológicas.	58
Tabla 27. Correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación Villar del Arzobispo.	59
Tabla 28. Correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación Villar del Arzobispo.	59
Tabla 29. Correlación entre los contaminantes y las variables meteorológicas para la estación Villar del Arzobispo.	60

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Ambientum,» [En línea]. Available: <https://www.ambientum.com/>. [Último acceso: 12 07 2021].
- [2] E. Martínez Ataz y Y. Díaz de Menas Morales, Contaminación atmosférica, Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2004.
- [3] A. L. Valverde Jiménez, «SlidePlayer,» 2021. [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/10532306/>. [Último acceso: 1 08 2021].
- [4] V. L. P. Espert Alemany, Técnicas e Instrumentos de Gestión Ambiental (Vol. I), Valencia: Universitat Politècnica de València, 2003.
- [5] F. Ballester, «Contaminación atmosférica, cambio climático y salud,» *Revista Española de Salud Pública*, nº 79, pp. 159-175, 2005.
- [6] «Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (CeMCAQ),» 2 02 2020. [En línea]. Available: <http://aire.cemcaq.mx/ozono/>.
- [7] «Ceupe,» [En línea]. Available: <https://www.ceupe.com/blog/la-dispersion-de-los-contaminantes.html>. [Último acceso: 7 06 2021].
- [8] «Toxic control,» *nature*, vol. 5, nº 534, 2016.
- [9] Giostra, U; Furlani, F; Arduni, J; et al., «The determination of a "regional" atmospheric background mixing ratio for anthropogenic greenhouse gases: A comparison of two independent methods,» *Atmospheric Environment*, nº 45, pp. 3-7, 2011.
- [10] Trisolino, P; di Sarra, A; Sferlazzo, D; et al., «Application of a Common Methodology to Select in Situ CO2 Observations Representative of the Atmospheric Background to an Italian Collaborative Network,» *atmosphere*, vol. 246, p. 12, 2021.
- [11] «Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica,» 2015. [En línea]. Available: <https://agroambient.gva.es>. [Último acceso: 5 08 2021].
- [12] Generalitat Valenciana, «Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica,» 2015. [En línea]. Available:

<https://agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/evaluacion-de-la-calidad-del-aire-informes-anuales>. [Último acceso: 13 07 2021].

- [13] BOE, *Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia, y su transposición la ordenamiento jurídico Español mediante el R.D. 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire*, 2011.
- [14] Consejo de la Unión Europea, «97/101/CE: Decisión del Consejo de 27 de enero de 1997 por la que se establece un intercambio recíproco de información y datos de las redes y estaciones aisladas de medición de la contaminación atmosférica en los Estados miembros,» 1997.
- [15] Estarlich, M; Iñiguez, C; Esplugues, A; et al., «Variación espacial de la exposición a contaminación atmosférica en la ciudad de Valencia y su relación con un índice de privación,» *Gaceta Sanitaria*, vol. 27, nº 2, pp. 143-148, 2013.
- [16] S. M. Ross, *Introducción a la estadística*, Barcelona: Reverté, 2007.
- [17] C. Pérez López, *Estadística práctica con Statgraphics*, Madrid: Pearson Educación, 2002.