

**Análisis de datos de calidad del aire y parámetros meteorológicos mediante análisis estadístico aplicado a siete provincias de Castilla y León durante el periodo 2000-2016.**

Autores:

**Francisco Javier Hoyuelos Álvaro<sup>a</sup> (Universidad de Burgos); Luis Antonio Marcos Naveira<sup>b</sup> (Universidad de Burgos); Sandra Serrano Herrero<sup>c</sup> (Universidad de Burgos); David Hernando Hebrero<sup>d</sup> (Universidad de Burgos);**

<sup>a</sup>Universidad de Burgos, Departamento de Química, 09001 Burgos, [fjha@ubu.es](mailto:fjha@ubu.es)

<sup>b</sup>Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior. Campus Río Vena (Edificio A), 09006 Burgos, Spain [gplamn@ubu.es](mailto:gplamn@ubu.es)

<sup>c</sup>Universidad de Burgos, Departamento de Química, 09001 Burgos, [sandra30\\_9@hotmail.com](mailto:sandra30_9@hotmail.com) y [ssh0006@alu.ubu.es](mailto:ssh0006@alu.ubu.es)

<sup>d</sup>Universidad de Burgos, Departamento de Química, 09001 Burgos, [dhh0003@alu.ubu.es](mailto:dhh0003@alu.ubu.es)

Áreas temáticas:

**Calidad ambiental y salud**

Palabras clave:

**Calidad del aire; evolución temporal contaminantes atmosféricos; parámetros meteorológicos.**

Resumen:

**La calidad del aire que respiramos está directamente relacionada con la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera y su relación con los parámetros meteorológicos.**

**Hemos realizado el estudio de los contaminantes químicos presentes en el aire que se miden en las estaciones de la red de Castilla y León junto con las variables meteorológicas entre los años 2000 y 2016.**

**Hemos seleccionado 53 estaciones de medida de contaminantes de las provincias de Burgos, León, Palencia, Salamanca, Soria, Valladolid y Zamora, de las cuales 28 están actualmente operativas. Hemos escogido siete contaminantes químicos escogidos: el monóxido de carbono (CO), el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el ozono (O<sub>3</sub>) y las partículas en suspensión (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>). La descarga de dichos datos medios mensuales y medios anuales la hemos llevado a cabo a través de la aplicación web de la Junta de Castilla y León: <http://servicios.jcyl.es/esco/index.action>.**

**Los parámetros meteorológicos seleccionados han sido: la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la insolación, la radiación global, la velocidad del viento y la presión. Hemos descargado los valores medios mensuales de la aplicación web de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/productosAEMET?>.**

**Hemos desarrollado un estudio estadístico sobre el grupo de 14 variables, que contienen los 7 contaminantes atmosféricos y los 7 parámetros meteorológicos, empleando métodos univariantes (para obtener los parámetros estadísticos básicos), bivariantes (para identificar correlaciones entre dos variables), y multivariantes (análisis factorial y análisis de conglomerados o cluster) para comprobar la existencia de factores que reduzcan el número global de variables o para percibir si existen grupos de variables que se agrupen con algún sentido**

físico.

Las estaciones de vigilancia de la contaminación del aire se clasifican dependiendo del tipo de área donde se ubican como Urbanas, Suburbanas o Rurales; y según la principal fuente de emisión, que determina los contaminantes predominantes, Tráfico, Industriales o de Fondo. Hemos empleado las medias anuales de los contaminantes químicos para estudiar su evolución en los últimos 17 años.

## 1. Introducción

Muy recientemente se acaba de publicar "El aire que respiras: la contaminación atmosférica en las ciudades", del Observatorio salud y medio ambiente, que trata de concienciar a la población sobre los efectos que la contaminación atmosférica tiene en la salud y la calidad de vida, aportando posibles soluciones a este problema. ("El aire que respiras. La contaminación atmosférica en las ciudades," 2018)

En el año 2013 el entonces Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, hoy llamado Ministerio para la Transición Ecológica, publicó un Análisis de la calidad del aire en España estudiando su evolución desde el año 2001 al 2012. ("Análisis de la calidad del aire en España. Evolución 2001-2012," 2013). Posteriormente se han realizado actualizaciones para los años 2013, 2014 y 2015. El último informe ministerial de la calidad en España corresponde al año 2015. ("Evaluación de la calidad del aire en España 2016," 2017)

Es de destacar el informe anual de "La calidad del aire en el Estado español" que Ecologistas en acción lleva publicando desde el año 2005 (<https://www.ecologistasenaccion.org/?p=13106>).

En las guías de calidad del aire de la OMS se presentan los valores guía revisados para los contaminantes más frecuentes del aire, tomando como base un examen de las pruebas científicas acumuladas. ("Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos," 2005). En la Tabla 1 se comparan los valores recogidos en el RD 102/2011 y los valores guía de la OMS.

**Tabla 1.** Comparación entre los valores legislados del RD 102/2011 y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para los contaminantes NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y O<sub>3</sub>.

Contaminante	Período promedio	Valor límite RD 102/2011	Valor guía OMS (2006)
		Concentración (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )
NO <sub>2</sub>	Anual	40	40
CO	Máximo diario octohorario anual	10 × 10 <sup>3</sup>	10 × 10 <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	Anual	40	20
PM <sub>2.5</sub>	Anual	25	10
O <sub>3</sub>	Máximo diario 8h	120 (> 25 veces en	100

		promedio 3 años)	
SO <sub>2</sub>	Anual	20	
		Nivel crítico	

Las estaciones de medición fija, de acuerdo a la guía de la Decisión 2011/850/UE, según el tipo de área en el que se localizan, se clasifican en:

- Urbanas: las ubicadas en zonas edificadas de forma continua.
- Suburbanas: las que se encuentran en zona muy edificada, continua de edificios separados combinada con zonas no urbanizadas (pequeños lagos, bosques, tierras agrícolas).
- Rurales: todas las que no satisfacen los criterios anteriores.

Y, según la principal fuente emisora implicada, es decir, tipo de influencia, se dividen en:

- Tráfico: estaciones situadas de tal manera que su nivel de contaminación está determinado principalmente por las emisiones procedentes de una calle/carretera próxima.
- Industriales: la principal influencia deriva de fuentes industriales (aisladas o agrupadas en zonas industriales).
- De fondo: estaciones en las que no se manifiesta ninguna fuente de emisión como predominante.

Centrándonos en Castilla y León, que es donde se va a realizar el estudio, en el año 2009 se realizó la re zonificación de la red de evaluación de la calidad del aire. ("Consejería de Fomento y Medio Ambiente", 2013) En la zona para "la protección de la salud humana", se ha dividido el territorio en 4 aglomeraciones y 7 subzonas, utilizando 28 estaciones. En la zonificación para "la protección a la vegetación", el territorio se ha dividido en 3 subzonas, empleando 7 estaciones. En la "de ozono" se ha dividido el territorio en 4 aglomeraciones y 8 zonas, disponiendo de 32 estaciones. Es decir, la zonificación del territorio para la evaluación de la calidad del aire en Castilla y León es diferente según el contaminante de que se trate.

El conjunto de estaciones de vigilancia de la calidad del aire de Castilla y León lo integran la red propia de la Junta, que está constituida por 22 estaciones automáticas que proporcionan medidas en continuo, las redes privadas para la vigilancia de la contaminación debida a grandes instalaciones industriales (centrales térmicas, cementeras, industria del automóvil, etc.), y las del Ayuntamiento de Valladolid. ("Evaluación del cumplimiento de los criterios de ubicación estaciones calidad del aire en la red de control de la Junta de Castilla y León. Informe final". (2017)) En la tabla resumen de cumplimiento de dicho informe se concluye que las 22 estaciones cumplen los criterios globalmente, si bien en relación a los criterios de macroimplantación cuatro de ellas en vegetación no los cumplen y dos de ellas tampoco lo cumplen para el ozono.

La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León publica desde el año 2007 los informes anuales de calidad del aire en la región, siendo el último el correspondiente al año 2017

([https://medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1197248725419/\\_/\\_/](https://medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1197248725419/_/_/)).

Castilla y León presenta tres áreas con una importante contaminación: una situada al norte, en el entorno de las centrales térmicas de León y Palencia; otra al sur de las provincias de Ávila, Salamanca, Segovia, Soria, Valladolid y Zamora, en la que la contaminación emitida desde la Comunidad de Madrid y el área industrial de Oporto se extiende en la forma de ozono troposférico. Y la tercera, la aglomeración de Valladolid,

con un importante tráfico metropolitano. En 2017 el contaminante que más incidencia presentó fue el ozono, seguido de las partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> y el dióxido de azufre. (Miguel Ángel Ceballos, 2018). El mismo autor, en el informe correspondiente al año 2016, constata que se han trasladado estaciones a lugares no representativos de la contaminación, poniendo en cuestión la correcta evaluación de los contaminantes y por tanto de su incidencia sobre la salud de las personas. (Miguel Ángel Ceballos, 2017).

Arroyo et al., (2017) analizaron el nivel de contaminación de NO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub>, en ocho estaciones de Castilla y León entre los años 2008 y 2015. Aunque del 2012 al 2015 presentan menores niveles de contaminación atmosférica, la desviación típica, especialmente en NO y NO<sub>2</sub>, es mayor que en años anteriores, en estos años de baja contaminación en la región de Castilla y León existen grandes picos de contaminación.

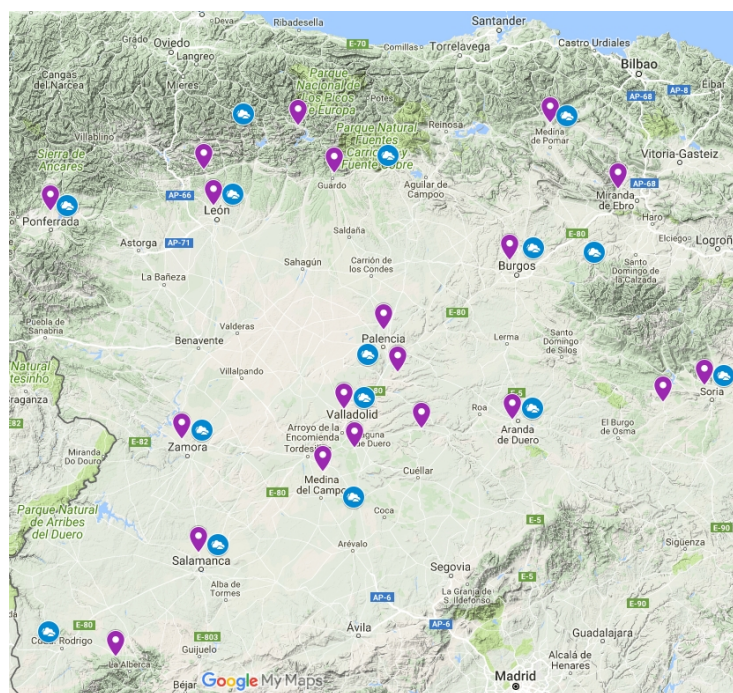
En el 10º CONAMA, Minguito et al. (Minguito, Vitoria Raymundo, & Tricio Gómez) presentaron un estudio de los valores semanales de calidad del aire en las ciudades de Burgos, Miranda de Ebro y Aranda de Duero, desde el año 2006 al año 2008. Encontrando que la concentración de los contaminantes (NO, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>) es menor durante el fin de semana que a diario, llamado efecto “fin de semana”.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Datos

En este trabajo se han estudiado los niveles de contaminación del aire en siete provincias de Castilla y León, Burgos, León, Palencia, Salamanca, Soria, Valladolid y Zamora. (Hernando, 2017 y Herrero, 2017) Se han seleccionados 51 estaciones de la red de monitoreo, Figura 1, basándonos en la disponibilidad de suficientes datos sobre contaminación atmosférica (Tabla 2a). De las cuales se han obtenido los promedios mensuales y anuales de las concentraciones de CO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>), NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), dentro del intervalo de 2000 a 2016. Todos los datos sobre contaminación atmosférica proceden de la base de datos de calidad del aire de la Junta de Castilla y León. (<http://servicios.jcyl.es/esco/index.action>).

Además, se han obtenido simultáneamente los datos meteorológicos de 15 estaciones meteorológicas más cercanas a las estaciones de medida de contaminantes, (Tabla 2b), descargándolos de la página web de la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET, (<https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>). Se han descargado los valores mensuales medios de la temperatura, la precipitación total, la humedad relativa, la insolación diaria, la radiación solar global, la velocidad del viento y la presión a nivel de estación. En la Tabla 3 se recogen las abreviaturas y las unidades de estos parámetros meteorológicos utilizados.



**Figura 1.** Mapa de Castilla y León. Las posiciones geográficas de las estaciones de medida de contaminantes del aire y de las estaciones meteorológicas están marcadas con chinchetas de color morado y nubes azules, respectivamente.

**Tabla 2.** Características de las estaciones de medida de contaminantes del aire (a) y de las estaciones meteorológicas (b). Detalles de las estaciones de medida de contaminantes: nombre de la estación, coordenadas de altitud, tipo de Área (Urbana - U; Suburbana - S; Rural - R), tipo de Influencia (Tráfico - T; Industrial - I; Fondo - F) y operatividad en la actualidad.

Municipio	Calle	Altitud (m)	Tipo de Área	Tipo de Influencia	Operativas actualmente
<b>a) Estaciones de medida de contaminantes del aire</b>					
<i>Provincia: Burgos</i>					
Aranda de Duero 1	Jardines de don Diego	865	U	T	No
Aranda de Duero 2	Sulidiza	801	U	T	Si
Burgos 1	Plaza de los Lavaderos	929	U	T	Si
Burgos 2	Facultad de Teología	929	U	T	No
Burgos 3	Plaza de San Agustín	929	U	T	No
Burgos 4	Fuentes Blancas	929	U	F	Si
Burgos 5	Teresa de Cartagena Saravia	929	U	F	No

Miranda de Ebro 1	Carretera Miranda-Logroño	471	U	I	Si
Miranda de Ebro 2	Parque Antonio Cabezón	471	U	I	Si
Miranda de Ebro 3	Antiguo Recinto Ferial	471	U	I	No
Medina de Pomar	Helipuerto	613	R	F	Si
<i>Provincia: León</i>					
La Robla	Barrio de Las Heras	945	S	I	Si
Lario	Casa del Parque Picos Europa	1145	R	F	Si
León 1	Avda. San Ignacio de Loyola	838	U	T	Si
León 2	Plaza de Toros	838	U	T	No
León 3	San Juan de Sahagún	838	S	T	No
León 4	Coto Escolar	814	S	F	Si
Ponferrada 1	Estación de autobuses	541	U	T	No
Ponferrada 2	Paseo de San Antonio	541	R	I	No
Ponferrada 3	Avda Huertas del Sacramento	541	U	T	No
Ponferrada 4	Albergue de Peregrinos	541	S	I	Si
Ponferrada 5	Parque de Cuatro Vientos	541	S	I	No
<i>Provincia: Palencia</i>					
Guardo	Calle Río Ebro	1120	U	I	Si
Velilla del río Carrión	Casa de la Juventud	1124	R	I	No
Palencia 1	Avda Manuel Rivera	739	U	T	No
Palencia 2	Campo de la Juventud	739	U	T	No
Palencia 3	Miravalles	953	U	T	Si

Venta de Baños	Avenida 1º de Junio	720	R	I	No
<i>Provincia: Salamanca</i>					
El maillo	Helipuerto	1034	R	F	Si
Salamanca 1	Avda de Portugal	797	U	T	No
Salamanca 2	La Marina	797	U	T	No
Salamanca 3	Avenida de Alemania	797	U	T	No
Salamanca 4	Maestro Serrano	797	U	F	No
Salamanca 5	La Bañeza	797	U	T	Si
Salamanca 6	Aldehuela de los Guzmanes	743	S	F	Si
<i>Provincia: Soria</i>					
Soria	Avenida de Valladolid	1090	U	T	Si
Muriel de la Fuente	Casa del parque Fuentona	1005	R	F	Si
<i>Provincia: Valladolid</i>					
Medina del Campo	Estación de autobuses	721	S	I	Si
Arco Ladrillo II	Arco Ladrillo	700	U	T	Si
Vega Sicilia	Vega Sicilia	690	U	T	Si
Puente Regueral	Puente Regueral	691	U	I	Si
La Rubia II	La Rubia	683	U	T	Si
Valladolid Sur	Olimpiadas 4	675	U	T	Si
Michelín	Paseo del Cauce	694	U	I	Si
Michelín 2	Fuente Berrocal	753	U	I	Si
Renault 1	Informática	706	S	I	Si
Renault 2	Motores	705	S	I	Si
Renault 3	Carrocerías	698	S	I	Si
Santa Teresa			U	T	No
<i>Provincia: Zamora</i>					
Zamora 1	Jardines	720	U	T	No

	Eduardo Barrón				
Zamora 2	Ctra Villalpando	720	U	T	Si
<b>b) Estaciones meteorológicas</b>					
<i>Provincia: Burgos</i>					
Aranda de Duero		790			
Burgos	aeropuerto	891			
Medina de Pomar		580			
Belorado		820			
<i>Provincia: León</i>					
León	aeropuerto				
Virgen del Camino	Valverde de la Virgen	912			
Puerto de San Isidro	Puebla de Lillo	1510			
Ponferrada	Ponferrada	534			
<i>Provincia: Palencia</i>					
Cervera de Pisuerga	Cervera de Pisuerga	1140			
Autilla del Pino	Autilla del Pino	874			
Carrión de los condes	Carrión de los Condes	830			
Palencia	Observatorio				
<i>Provincia: Salamanca</i>					
Salamanca		775			
Saeciles el chico	Saelices el Chico	680			
Salamanca	Aeropuerto	790			
<i>Provincia: Soria</i>					
Soria		1082			
<i>Provincia: Valladolid</i>					
Valladolid		735			
Olmedo	Olmedo	740			
Valladolid	Aeropuerto				
<i>Provincia: Zamora</i>					
Zamora		656			

## 2.2. Software utilizado



El análisis estadístico se ha realizado con los programas Statgraphics Centurion XVII. Version 17.2.07 y Origin 8.5.0 SR0

**Tabla 3.** Abreviaturas de los parámetros meteorológicos utilizados y sus unidades.

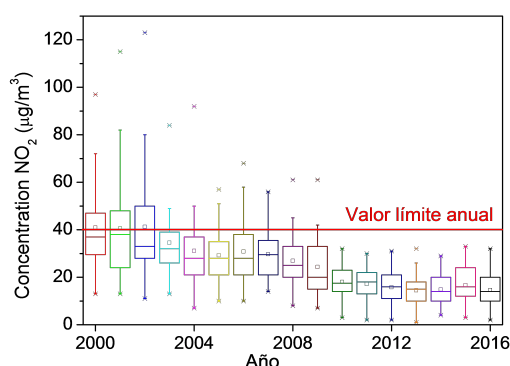
Parámetro meteorológico	Descripción y unidades
q_med	Presión media mensual al nivel de la estación (hPa)
w_med	Velocidad media mensual elaborada a partir de las observaciones de 07, 13 y 18 UTC (km/h)
glo	Radiación global mensual (kJ m <sup>-2</sup> )
inso	Media mensual de la insolación diaria (h)
hr	Humedad relativa media mensual (%)
p_mes	Precipitación total mensual (mm)
tm_mes	Temperatura media mensual (°C)

### 3. Resultados y discusión

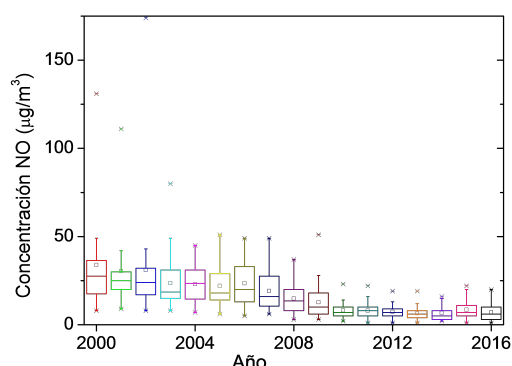
#### 3.1. Evolución de las medias anuales de los contaminantes durante el periodo 2000-2016

Para observar la evolución de las medias anuales se han seleccionado 23 estaciones urbanas, 9 suburbanas y 6 rurales de las 54 estaciones analizadas.

La Figura 2 muestra la distribución de las medias anuales de una serie de las estaciones participantes en la evaluación del NO<sub>2</sub>, se observa que disminuye la concentración de NO<sub>2</sub> desde el año 2000, notándose una mayor disminución a partir del año 2008. Puntualmente en 2015 vuelven a subir los niveles registrados para este contaminante.



**Figura 2.** Diagrama de caja y bigotes de las medias anuales de NO<sub>2</sub> 2000-2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de las medias

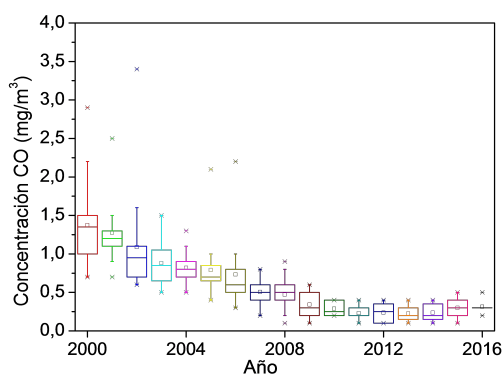


**Figura 3.** Diagrama de caja y bigotes de las medias anuales de NO 2000-2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de las medias anuales.

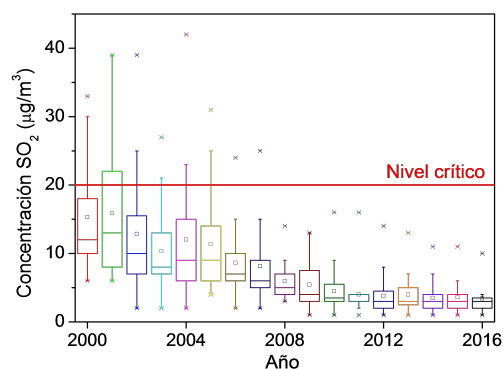
anuales.

La evolución durante estos 17 años del NO es claramente a la baja, Figura 3, presentando un comportamiento similar al observado para el NO<sub>2</sub>. En el periodo 2008-2015, los niveles medios mensuales de contaminación atmosférica en NO y NO<sub>2</sub> registrados en las estaciones orientadas a la protección del ozono son inferiores a los de las orientadas a la salud. (Arroyo et al., 2017)

En la Figura 4, se recoge la evolución del CO, se aprecia que, en 2015, se mantiene la circunstancia ya observada en los dos contaminantes anteriores de que los valores registrados sufren un pequeño repunte. Aunque en los 17 años considerados en el estudio, los valores están lejos del incumplimiento de los objetivos de calidad legales establecidos para la protección de la salud, que se ha fijado en 10 mg/m<sup>3</sup>.



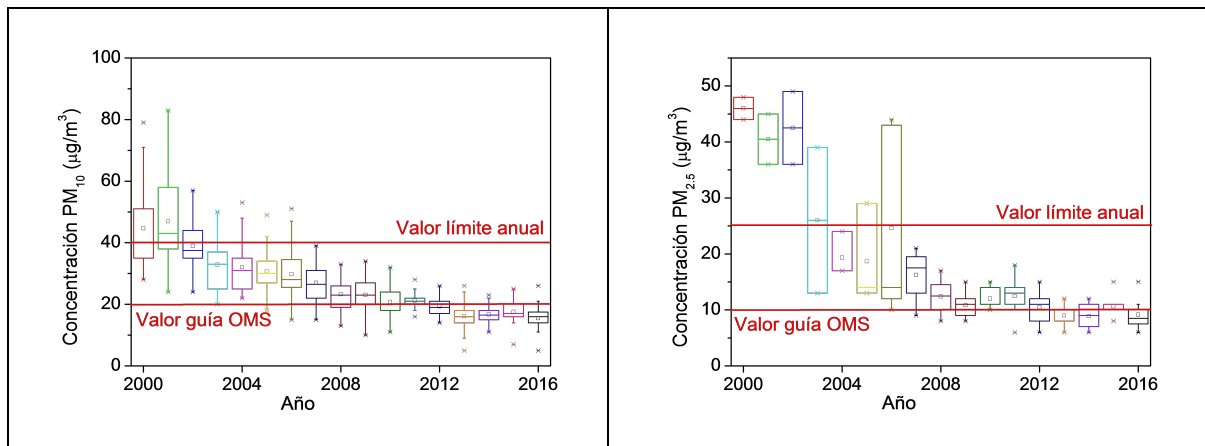
**Figura 4.** Diagrama de caja y bigotes de la media anual de los máximos diarios 8h de CO 2000-2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de los máximos diarios octohorarios.



**Figura 5.** Diagrama de caja y bigotes de las medias anuales de SO<sub>2</sub> 2000-2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de las medias anuales.

La Figura 5 muestra la evolución del SO<sub>2</sub> a lo largo de los años 2000-2016 y se señala el nivel crítico del RD 102/2011 para la media anual del SO<sub>2</sub>, establecido en 20 µg/m<sup>3</sup>. En dicha figura se observa una tendencia hacia la disminución de los niveles medios a lo largo del tiempo, siendo especialmente significativa la reducción que se produjo en el año 2008, debido a que ese año entró en vigor el Plan Nacional de Reducción de Emisiones de Grandes Instalaciones de Combustión.

La Figura 6 muestra la distribución de las medias anuales de las PM<sub>10</sub>, y se recoge el valor límite anual del RD 102/201 (20 µg/m<sup>3</sup>) y el valor guía de la OMS (20 µg/m<sup>3</sup>). En el gráfico se confirma la disminución paulatina con los años, si bien en 2015 se produce un ligero incremento.



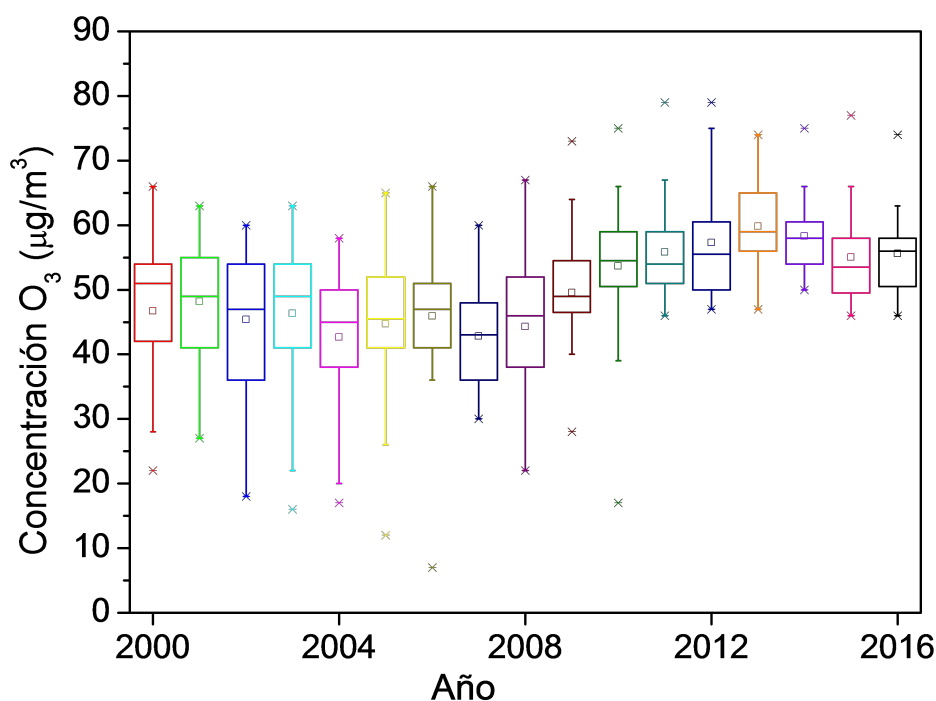
**Figura 6.** Diagrama de caja y bigotes de las medias anuales de PM<sub>10</sub> 2000-2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de las medias anuales.

**Figura 7.** Diagrama de caja y bigotes de las medias anuales de PM<sub>2.5</sub> 2000-2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de las medias anuales.

En la Figura 7 se recoge la evolución de las PM<sub>2.5</sub> a lo largo del periodo estudiado, y se señalan el valor límite anual de 25 µg/m<sup>3</sup> y el valor guía de la OMS de 10 en µg/m<sup>3</sup>. En ella se aprecia que los niveles de PM<sub>2.5</sub> han ido disminuyendo notablemente, manteniéndose prácticamente constantes desde el año 2012, siendo superiores al valor guía de la OMS. Las PM<sub>2.5</sub> son el contaminante atmosférico cuyos efectos sobre la salud se han estudiado con mayor detenimiento, y es la variable más utilizada como indicador indirecto de la exposición a la contaminación atmosférica. (Linares, Falcón, Ortiz, & Díaz, 2018)

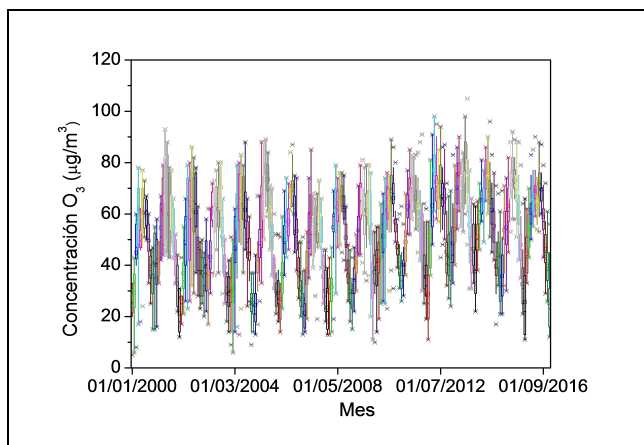
La Figura 8 muestra la distribución de los Percentiles 93,2 de los máximos diarios octohorarios de las estaciones participantes en la evaluación del O<sub>3</sub> a lo largo del periodo 2000-2016. La evolución de los registros decrece ligeramente hasta el año 2008, para después presentar una tendencia alcista y llegar a un máximo en 2013. Si bien, en ninguno de los años se alcanza ni el valor límite (120 mg/m<sup>3</sup>) ni el valor guía de la OMS (100 mg/m<sup>3</sup>). Los resultados evidenciaron que durante 16 años (2000-2015) los niveles medios de O<sub>3</sub> en los estaciones de fondo no cambiaron significativamente, y permanecieron constantemente altos. Sin embargo, hay un claro aumento en los emplazamientos de tráfico y fondo. (Querol et al., 2016)

Las altas concentraciones de ozono muestran una relación cuadrática con la mortalidad diaria. Aunque este efecto es más pronunciado en las causas respiratorias, también hay un efecto a corto plazo sobre la mortalidad por causas naturales y circulatorias. (Díaz, Ortiz, Falcón, Salvador, & Linares, 2018)

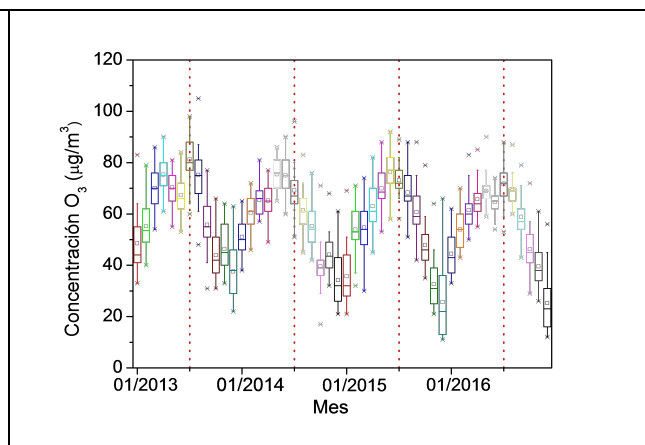


**Figura 8.** Diagrama de caja y bigotes del percentil 93.2 (de los máx diario 8h) de O<sub>3</sub> 2000-2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de los percentiles 93,2.

Para estudiar la distribución mensual de los niveles de O<sub>3</sub> en estos 17 años, en la Figura 9 se muestra la evolución de medias mensuales (a partir de datos máximos diarios horarios) de una serie de estaciones que han participado en su evaluación. Para verlo con más detalle, en la Figura 10 se representan solo los últimos cuatro años observados, donde se aprecia la típica geometría convexa, que se caracteriza por tener valores estivales más altos. El mes de junio es el que tiene los valores más altos (señalado con una línea roja vertical discontinua). Los valores medios extremos, medidos de las concentraciones de ozono de 2000 a 2005 en una zona rural de Valladolid, son de 59 µg m<sup>-3</sup> en enero y 113 µg m<sup>-3</sup> en julio. (Sanchez, Garcia, Perez, & de Torre, 2008)



**Figura 9.** Evolución de las medias mensuales de máximos diarios octohorarios de O<sub>3</sub> durante los años 2000 a 2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de los percentiles 93,2.



**Figura 10.** Evolución de las medias mensuales de máximos diarios octohorarios de O<sub>3</sub> durante los años 2013 a 2016. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes marcan el máximo y mínimo, y el cuadrado interior representa el valor medio de los percentiles 93,2.

### 3.2. Análisis univariante

En las Tablas 4 y 5 se muestran los valores estadísticos promedios de cada una de las variables estudiadas, tanto de los contaminantes atmosféricos como de las variables meteorológicas. El menor número de datos de PM<sub>2.5</sub> (1056) en comparación con el resto se debe a que se ha empezado a medirse más recientemente.

**Tabla 4.** Valores estadísticos obtenidos del análisis univariante a los contaminantes atmosféricos.

	CO (mg/m <sup>3</sup> )	NO (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Recuento	2401	6434	6421	4865	5000	1056	4971
Promedio	0,70	16,34	24,99	50,22	26,54	14,15	9,03
Mediana	0,6	11,0	22,0	51,0	24,0	11,0	6,0
Desviación estándar	0,52	17,33	15,98	18,15	12,18	10,34	9,70
Coefficiente de Variación (%)	74,36	106,07	63,97	36,14	45,90	73,06	107,42
Mínimo	0	1,0	1,0	4,0	4,0	1,0	0
Máximo	4,7	203,0	131,0	105,0	114,0	65,0	112,0
Rango	4,7	202,0	130,0	101,0	110,0	64,0	112,0
Sesgo estandarizado	36,01	97,43	52,22	-4,35	33,67	30,40	83,49
Curtois	58,15	250,08	76,85	-10,62	33,72	34,58	185,00

/Kurtosis Estandarizada							
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--

**Tabla 5.** Valores estadísticos obtenidos del análisis univariante a las variables meteorológicas.

	hr (%)	p_mes (mm)	tm_mes (°C)	glo (kJ m <sup>-2</sup> )	inso (h)	q_med (hPa)	w_med (km/h)
Recuento	5784	5888	5957	2408	4014	5634	6179
Promedio	65,92	41,20	11,93	48643,7	7,13	925,20	10,01
Mediana	66,0	32,3	11,3	49346,0	7,2	929,1	9,0
Desviación estándar	12,84	37,41	6,40	24012,5	3,23	17,55	3,80
Coefficiente de Variación (%)	19,48	90,79	53,64	49,36	45,26	1,90	37,99
Mínimo	7,0	0	-1,7	11542,0	0,9	837,6	0
Máximo	93,0	295,0	25,5	91318,0	75,0	964,7	25,0
Rango	86,0	295,0	27,2	79776,0	74,1	127,1	25,0
Sesgo estandarizado	-3,64	61,52	6,45	2,81	60,72	-34,68	26,40
Curtois /Kurtosis Estandarizada	-13,16	96,88	-18,91	-13,96	611,24	49,31	6,41

### 3.3. Correlaciones

En la tabla 6 se recoge la correlación existente entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlaciones va de -1 a +1 y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. Entre paréntesis se muestra el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es el P-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, valores inferiores a 0,05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero en un intervalo del 95 % de confianza.

**Tabla 6.** Correlaciones parciales de todas las variables estudiadas.

	CO	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	hr	p_mes	tm_mes	glo	inso	q_med	w_med
CO		0,2811 (2378)	0,3687 (2378)	0,2673 (1386)	0,4020 (1973)	-0,3493 (426)	0,4422 (2118)	-0,1421 (2151)	-0,1365 (2187)	0,0356 (2209)	-0,1996 (667)	-0,1880 (1277)	-0,0585 (2021)	-0,1829 (2220)
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0951	0,0000	0,0000	0,0087	0,0000
NO	0,2811 (2378)		0,2495 (6420)	-0,0935 (4765)	0,0403 (4929)	0,0492 (1056)	0,0010 (4856)	-0,0638 (5634)	-0,1262 (5739)	0,1005 (5807)	-0,0530 (2362)	-0,2027 (3885)	0,0139 (5463)	0,0198 (6009)
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0046	0,1115	0,9464	0,0000	0,0000	0,0000	0,0101	0,0000	0,3047	0,1251
NO <sub>2</sub>	0,3687 (2378)	0,2495 (6420)		-0,6039 (4754)	-0,5588 (4927)	0,8623 (1054)	-0,7241 (4855)	0,2830 (5621)	0,5304 (5726)	-0,3691 (5794)	0,3630 (2353)	0,6398 (3872)	0,2225 (5450)	0,6051 (5996)
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
O <sub>3</sub>	0,2673 (1386)	-0,0935 (4765)	-0,6039 (4754)		-0,3552 (3485)	0,5445 (554)	-0,4863 (3865)	-0,0233 (4288)	0,4213 (4342)	-0,1636 (4403)	0,3982 (1671)	0,3360 (2711)	0,0840 (4012)	0,4343 (4522)
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1280	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
PM <sub>10</sub>	0,4020 (1973)	0,0403 (4929)	-0,5588 (4927)	-0,3552 (3485)		0,6843 (912)	-0,4881 (4117)	0,2533 (4386)	0,3634 (4511)	-0,2723 (4545)	0,2422 (1753)	0,5327 (2943)	0,0617 (4072)	0,4598 (4639)
		0,0000	0,0046	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
PM <sub>2.5</sub>	-0,3493 (426)	0,0492 (1056)	0,8623 (1054)	0,5445 (554)	0,6843 (912)		0,8351 (511)	-0,3770 (944)	-0,5667 (974)	0,4327 (982)	-0,3964 (649)	-0,7196 (848)	-0,2080 (1029)	-0,6304 (1022)
		0,0000	0,1115	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SO <sub>2</sub>	0,4422 (2118)	0,0010 (4856)	-0,7241 (4855)	-0,4863 (3865)	-0,4881 (4117)	0,8351 (511)		0,3740 (4432)	0,5206 (4518)	-0,4402 (4587)	0,3882 (1305)	0,6945 (2418)	0,1532 (3997)	0,4353 (4572)
		0,0000	0,9464	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
hr	-0,1421 (2151)	-0,0638 (5634)	0,2830 (5621)	-0,0233 (4288)	0,2533 (4386)	-0,3770 (944)	0,3740 (4432)		-0,0469 (5675)	-0,2166 (5771)	-0,3129 (2144)	-0,5832 (3606)	0,1033 (5147)	-0,0979 (5652)
		0,0000	0,0000	0,0000	0,1280	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

# RUMBO 20.30.



26  
NOV

29  
NOV

CONAMA 2018  
CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

p_mes	-0,1365	-0,1262	0,5304	0,4213	0,3634	-0,5667	0,5206	-0,0469		0,4567	-0,2556	-0,5698	-0,3111	-0,3791
	(2187)	(5739)	(5726)	(4342)	(4511)	(974)	(4518)	(5675)		(5852)	(2251)	(3636)	(5138)	(5664)
	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
tm_mes	0,0356	0,1005	-0,3691	-0,1636	-0,2723	0,4327	-0,4402	-0,2166	0,4567		0,1112	0,5217	0,2917	0,2406
	(2209)	(5807)	(5794)	(4403)	(4545)	(982)	(4587)	(5771)	(5852)		(2251)	(3653)	(5207)	(5730)
	0,0951	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
glo	-0,1996	-0,0530	0,3630	0,3982	0,2422	-0,3964	0,3882	-0,3129	-0,2556	0,1112		-0,2503	0,0126	-0,0525
	(667)	(2362)	(2353)	(1671)	(1753)	(649)	(1305)	(2144)	(2251)	(2251)		(2234)	(2310)	(2296)
	0,0000	0,0101	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,5470	0,0120
inso	-0,1880	-0,2027	0,6398	0,3360	0,5327	-0,7196	0,6945	-0,5832	-0,5698	0,5217	-0,2503		-0,1467	-0,3929
	(1277)	(3885)	(3872)	(2711)	(2943)	(848)	(2418)	(3606)	(3636)	(3653)	(2234)		(4006)	(3945)
	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000
q_med	-0,0585	0,0139	0,2225	0,0840	0,0617	-0,2080	0,1532	0,1033	-0,3111	0,2917	0,0126	-0,1467		-0,4669
	(2021)	(5463)	(5450)	(4012)	(4072)	(1029)	(3997)	(5147)	(5138)	(5207)	(2310)	(4006)		(5482)
	0,0087	0,3047	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5470	0,0000		0,0000
w_med	-0,1829	0,0198	0,6051	0,4343	0,4598	-0,6304	0,4353	-0,0979	-0,3791	0,2406	-0,0525	-0,3929	-0,4669	
	(2220)	(6009)	(5996)	(4522)	(4639)	(1022)	(4572)	(5652)	(5664)	(5730)	(2296)	(3945)	(5482)	
	0,0000	0,1251	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0120	0,0000	0,0000	



## 3.4 Métodos multivariantes

### 3.4.1 Análisis Factorial

El análisis factorial es un método efectivo para transformar un grupo original de variables potencialmente interrelacionadas en un nuevo grupo de variables independientes no correlacionadas, denominadas componentes principales. Resulta que con los 6 factores extraídos se explica la mayor parte, el 84,74 %, de la varianza de las 14 variables estudiadas. En la Tabla 7 se recogen los pesos de las distintas variables para cada uno de los 6 factores, después de aplicar la rotación Varimax.

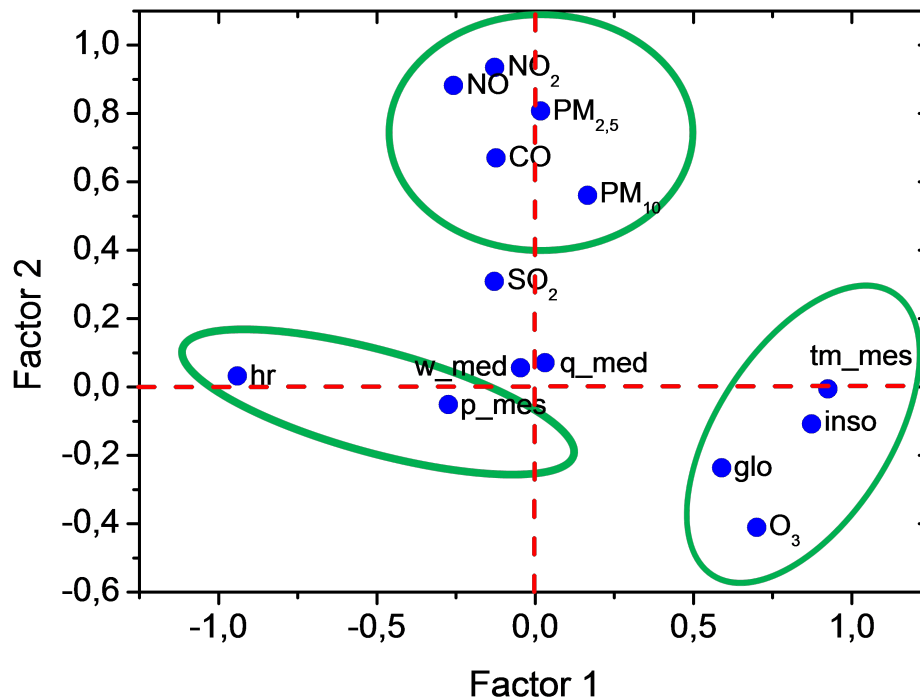
El factor 1, que por sí solo explica el 34,62 % de la varianza total del sistema, tiene en cuenta las variables  $O_3$ ,  $tm\_mes$  e  $inso$ , y negativamente con  $hr$ . A este factor se le podría denominar el del ozono porque informa de la relación del ozono a través de la implicación directa con la temperatura media mensual y la media mensual de la insolación diaria y disminuyendo con la humedad relativa. El valor de la carga del factor de ozono indica una producción fotoquímica intensa durante el estudio.

El factor 2 explica el 21,89 % de la varianza, depende fundamentalmente de los óxidos de nitrógeno ( $NO_2$  y  $NO$ ), del  $CO$  y de las  $PM_{2.5}$ .

El factor 3 se correlaciona principalmente con la presencia de  $SO_2$  en la atmósfera, el factor 4 con la presión media mensual ( $q\_med$ ), el factor 5 con la velocidad del viento ( $w\_med$ ) y el factor 6 con la precipitación ( $p\_mes$ ).

**Tabla 7.** Matriz de carga de los factores después de la rotación Varimax.

	<i>Factor 1</i>	<i>Factor 2</i>	<i>Factor 3</i>	<i>Factor 4</i>	<i>Factor 5</i>	<i>Factor 6</i>
$CO$ ( $mg/m^3$ )	-0,123	0,670	0,466	-0,053	0,090	0,054
$NO$ ( $\mu g/m^3$ )	-0,257	0,882	0,071	0,059	-0,030	-0,017
$NO_2$ ( $\mu g/m^3$ )	-0,127	0,935	0,031	0,060	0,038	-0,018
$O_3$ ( $\mu g/m^3$ )	0,700	-0,411	-0,023	-0,106	0,216	0,167
$PM_{10}$ ( $\mu g/m^3$ )	0,166	0,561	0,480	-0,302	-0,080	-0,090
$PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )	0,018	0,807	0,389	0,053	-0,257	-0,051
$SO_2$ ( $\mu g/m^3$ )	-0,129	0,309	0,875	0,040	-0,049	0,010
$hr$ (%)	-0,940	0,032	0,051	0,006	-0,026	0,198
$p\_mes$ (mm)	-0,274	-0,052	-0,001	-0,126	-0,028	0,933
$tm\_mes$ ( $^{\circ}C$ )	0,925	-0,006	-0,159	0,091	-0,074	-0,040
$glo$ ( $kJ\ m^{-2}$ )	0,590	-0,237	0,099	0,129	0,634	-0,060
$inso$ (h)	0,874	-0,108	0,068	-0,008	0,054	-0,288
$q\_med$ (hPa)	0,032	0,071	-0,042	0,916	-0,126	-0,123
$w\_med$ (km/h)	-0,046	0,056	-0,150	-0,521	0,757	-0,012



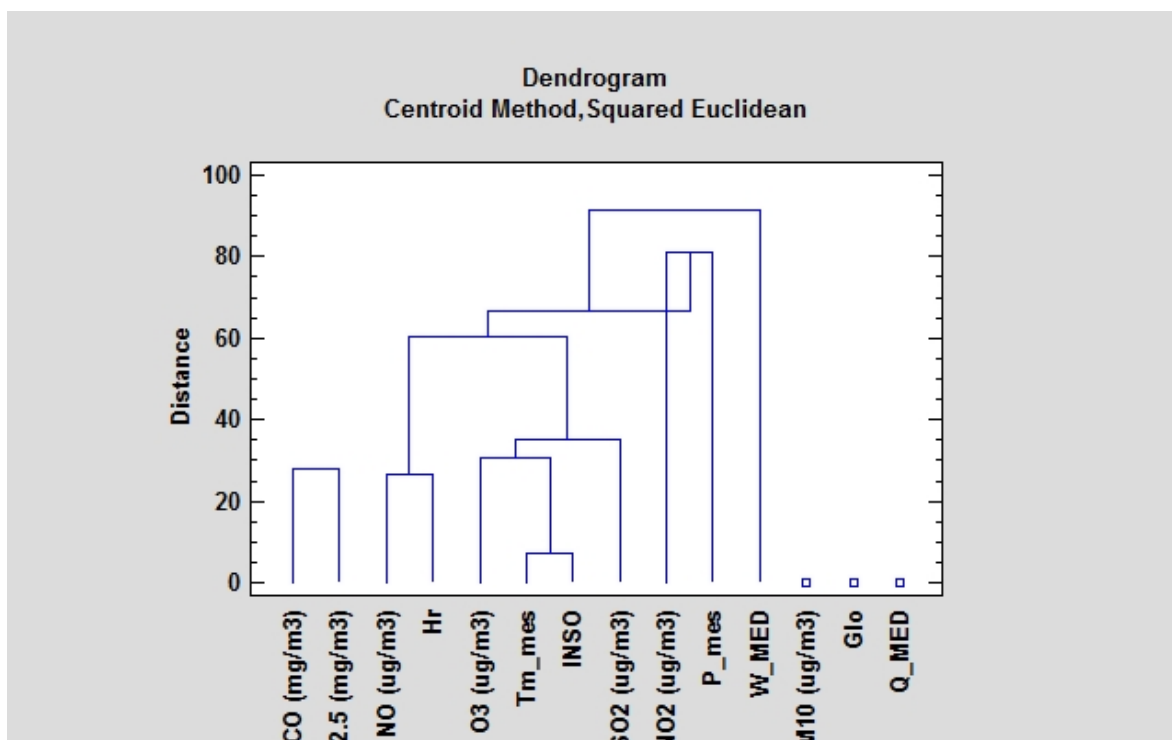
**Figura 11.** Representación del Factor de carga 1 frente al Factor de carga 2.

### 3.4.1 Análisis Cluster

El análisis cluster o de conglomerados es una técnica de clasificación utilizada para dividir un conjunto de datos en varios grupos. El objetivo es establecer un conjunto de clases de manera que las observaciones en una clase dada sean similares entre sí pero diferentes de las de las otras clases.

Los resultados obtenidos se visualizan en el dendrograma, Figura 12, donde se aprecian cuatro clusters: (1) CO–PM<sub>2.5</sub>, (2) NO–humedad relativa, (3) O<sub>3</sub>–temperatura media–insolación–SO<sub>2</sub> y (4) NO<sub>2</sub>–precipitación mensual–velocidad del viento. Sin embargo, se observa que las variables PM<sub>10</sub>, radiación global y presión media no se agrupan con ninguna otra.

El análisis cluster es consistente con los resultados del análisis factorial en cuanto a la homogeneidad del ozono, temperatura media e insolación, y también en que la presión media no correlaciona con otras variables.



**Figura 12.** Dendrograma con 5 cluster de los siete contaminantes y de las siete variables meteorológicas.

## 5. Conclusiones

La evolución de las medias anuales de los contaminantes NO<sub>2</sub>, NO, CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> muestra una disminución durante el periodo 2000-2016. El ozono troposférico decrece hasta el año 2008, continuando con una tendencia alcista y alcanzando la concentración más alta en el mes de junio.

La correlación significativa entre la concentración de O<sub>3</sub> y la radiación solar indica un alto nivel de fotoproducción de O<sub>3</sub>. Esto sugiere el efecto dominante de la producción fotoquímica sobre los niveles de ozono en comparación con el transporte, lo que también se indicó mediante el análisis de componentes principales y cluster.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Junta de Castilla y León por la Base de Datos de Calidad del Aire, por el suministro de datos sobre contaminación atmosférica (<http://servicios.jcyl.es/esco/index.action>), y también a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) por ofrecer en abierto los servicios meteorológicos y climatológicos (<https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>).

## 6. Bibliografía

Análisis de la calidad del aire en España. Evolución 2001-2012. (2013): Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial.

Arroyo, Á., Tricio, V., Herrero, Á., & Corchado, E. (2017). Time Analysis of Air Pollution in a Spanish Region Through k-means. In M. Graña, J. M. López-Guede, O. Etxaniz, Á.

Herrero, H. Quintián & E. Corchado (Eds.), International Joint Conference SOCO'16-CISIS'16-ICEUTE'16: San Sebastián, Spain, October 19th-21st, 2016 Proceedings (pp. 63-72). Cham: Springer International Publishing.

Ceballos, M. Á. (2017). Informe La calidad del aire en el Estado español durante 2016: Ecologistas en Acción.

Ceballos, M. Á. (2018). Informe La calidad del aire en el Estado español durante 2017: Ecologistas en Acción.

Díaz, J., Ortiz, C., Falcón, I., Salvador, C., & Linares, C. (2018). Short-term effect of tropospheric ozone on daily mortality in Spain. *Atmospheric Environment*, 187, 107-116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.059>

El aire que respiras. La contaminación atmosférica en las ciudades. (2018) Observatorio DKV de salud y medio ambiente 2018.

Evaluación de la calidad del aire en España 2016. (2017): Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial.

Evaluación del cumplimiento de los criterios de ubicación estaciones calidad del aire en la red de control de la Junta de Castilla y León. (2017) Noviembre 2017. Informe final. Proyectos Medio Ambientales para la Junta de Castilla y León. Recuperado de [file:///C:/Users/fjha/Downloads/Informe\\_Final\\_Ubicacion\\_Estaciones\\_JCyL\\_v1.pdf](file:///C:/Users/fjha/Downloads/Informe_Final_Ubicacion_Estaciones_JCyL_v1.pdf), 03/09/2018.

Guía Decisión 2011/850/UE. Recuperado de [http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/IPR\\_guidance1.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/IPR_guidance1.pdf)

Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos. (2005): Organización Mundial de la Salud.

Hernando Hebrero, David (2017). "Análisis de la calidad del aire y parámetros meteorológicos de Burgos, León, Palencia y Salamanca (años 2000-2016)". Trabajo de Fin de Grado (TFG). Facultad de Ciencias. Universidad de Burgos (UBU). 25 pp.

Linares, C., Falcón, I., Ortiz, C., & Díaz, J. (2018). An approach estimating the short-term effect of NO<sub>2</sub> on daily mortality in Spanish cities. *Environment International*, 116, 18-28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.002>

Minguito, A., Vitoria Raymundo, R., & Tricio Gómez, V. Valores semanales de calidad del aire en Burgos y provincia. CONAMA10.

Querol, X., Alastuey, A., Reche, C., Orío, A., Pallares, M., Reina, F., . . . Millan, M. (2016). On the origin of the highest ozone episodes in Spain. *Science of the Total Environment*, 572, 379-389. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.193

Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. (BOE núm. 25, 29 de enero de 2011). Texto Consolidado, 31 de agosto de 2017. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-1645-consolidado.pdf>

Sanchez, M. L., Garcia, M. A., Perez, I. A., & de Torre, B. (2008). Evaluation of surface ozone measurements during 2000-2005 at a rural area in the upper Spanish plateau. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 60(2), 137-152. doi: 10.1007/s10874-008-9113-2

Serrano Herrero, Sandra (2017). "Aplicación del análisis estadístico multivariante a datos de calidad del aire y parámetros meteorológicos de Burgos, Soria, Valladolid y Zamora (años 2000-2016)". Trabajo de Fin de Grado (TFG). Facultad de Ciencias. Universidad de Burgos (UBU). 25 pp.

Zonificación del Territorio de Castilla y León para la evaluación de la calidad del aire. (2013) Consejería de Fomento y Medio Ambiente. Recuperado de [file:///C:/Users/fjha/Downloads/Zonificaci%C3%B3n+2013\\_CyL\\_v3%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/fjha/Downloads/Zonificaci%C3%B3n+2013_CyL_v3%20(2).pdf), 10/06/2018.