

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis Multivariante de Calidad del Aire y Parámetros Meteorológicos en Castilla y León, Comunidad Valenciana y Madrid; periodo 2018-20



ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE CALIDAD DEL AIRE Y PARÁMETROS METEOROLÓGICOS
EN CASTILLA Y LEÓN, COMUNIDAD VALENCIANA Y MADRID; PERIODO 2018-20



Autor Principal: Francisco Javier Hoyuelos Álvaro (Universidad de Burgos, Departamento de Química, 09001 Burgos, fjha@ubu.es);

Otros autores: Luis Antonio Marcos Naveira (Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior. Campus Río Vena (Edificio A), 09006 Burgos, qplamn@ubu.es); Elisa Bárcena Martín (Universidad de Burgos, Departamento de Química, 09001 Burgos, ebm1001@alu.ubu.es); Judit Sanjuanes Serna (Universidad de Burgos, Departamento de Química, 09001 Burgos, jss0056@alu.ubu.es);

1. ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE CALIDAD DEL AIRE Y PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN CASTILLA Y LEÓN, COMUNIDAD VALENCIANA Y MADRID; PERIODO 2018-20

2. PALABRAS CLAVE

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

3. RESUMEN

El Índice de Calidad del Aire Europeo se puso en marcha en noviembre de 2017 por la Agencia Europea del Medio Ambiente y la Comisión Europea. El índice Nacional se aprobó en la Orden TEC/351/2019 y en junio y julio de 2020 se ha sometido a opinión y participación pública para su actualización y visualización. Este Índice de Calidad del Aire se basa en 5 contaminantes químicos (dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre, y partículas en suspensión $PM_{2,5}$ y PM_{10}), estableciendo para cada uno de ellos cinco niveles de calidad del aire (muy buena, buena, regular, mala y muy mala) dependiendo del rango de valores en función de sus concentraciones. A cada nivel de índice se ha asociado un color según una escala RGB (sigla en inglés de Red, Green y Blue) lo que permite informar a la población sobre la calidad del aire en tiempo real en todas las regiones de la Unión Europea.

Hemos realizado el estudio de la evolución de las medias diarias de siete contaminantes químicos atmosféricos (los 5 del índice más monóxido de carbono y monóxido de nitrógeno) en relación con los parámetros meteorológicos diarios (temperatura media, velocidad media del viento, precipitación e insolación) en las comunidades autónomas de Castilla y León, de Valencia y de Madrid desde enero de 2018 y hasta septiembre de 2020.

Hemos seleccionado 15 estaciones de medida de contaminantes de los tres tipos de áreas (urbanas, suburbanas y rurales) y de las tres principales fuentes de emisión (tráfico, industriales y de fondo) en cada una de las tres Comunidades Autónomas. Los datos de los contaminantes químicos se han obtenido de las páginas webs de las tres comunidades.

Escogimos estaciones meteorológicas cercanas a las estaciones de contaminantes, 12 en la Comunidad de Castilla y León, 6 en la valenciana y 4 en la de Madrid. Los valores meteorológicos se han descargado de la aplicación web de la Agencia Estatal de Meteorología.

Hemos desarrollado un estudio estadístico sobre el conjunto de variables para obtener los parámetros estadísticos básicos (métodos univariantes), para identificar correlaciones entre dos variables (métodos bivariantes), y 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 químico y físico (métodos multivariantes: análisis de componentes principales y análisis de conglomerados o cluster).

Además, comparamos las medias diarias promediadas del año 2018 y 2019 con las del 2020 para estudiar la evolución del efecto debido al confinamiento por la covid-19 y la posterior "nueva normalidad".

4. INTRODUCCIÓN

El 15 de julio finalizó el plazo de información pública sobre el proyecto para modificar el Índice nacional de calidad de aire, aprobado en marzo de 2019. Dicho índice establece los niveles y el rango de valores para cada nivel en función de las concentraciones de cada contaminante, Cuadro 1. Este índice pretende informar al público de manera clara sobre la calidad del aire e incorpora recomendaciones sanitarias para la población.

La exposición a los contaminantes químicos ambientales afecta directamente a nuestra salud, por ejemplo, el aumento del riesgo de mortalidad por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de incremento de la concentración media diaria de las partículas $\text{PM}_{2,5}$, de acuerdo con la Agencia Europea de Medio Ambiente.

Cuadro 1. Índice Nacional de Calidad del Aire.

Categoría del Índice	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BUENA	0-100	0-10	0-20	0-50	0-40
RAZONABLEMENTE BUENA	101-200	11-20	21-40	51-100	41-90
REGULAR	201-350	21-25	41-50	101-130	91-120
DESFAVORABLE	351-500	26-50	51-100	131-240	121-230
MUY DESFAVORABLE	501-750	51-75	101-150	241-380	231-340
EXTREMADAMENTE DESFAVORABLE	751-1250	76-800	151-1200	381-800	341-1000

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/resoluciondgactualizacionica_tcm30-509833.pdf)

El promedio de medida temporal de los cinco contaminantes clave en las estaciones de monitorización es el siguiente:

- Para el NO₂ y SO₂ se utiliza la concentración media de la última hora.

- Para el O₃ se tiene en cuenta la media móvil de las concentraciones de las últimas 8 horas.
- Para las PM₁₀ y PM_{2,5} se utiliza la media móvil de las concentraciones de las últimas 24 horas.

La evolución de la calidad del aire está relacionada de manera contrastada con las variables meteorológicas como se recoge en numerosos artículos científicos, en concreto se han publicado estudios que trabajan con datos aplicables a España. [1], [2]

5. METODOLOGÍA

En este trabajo se han estudiado los niveles de contaminación del aire en tres comunidades autónomas: Castilla y León, Madrid y Valenciana. [3], [4] Se han seleccionados 15 estaciones fijas de la red de monitoreo de medida de contaminantes en cada una de las tres regiones, Figura 1, escogiéndolas según el tipo de área en el que se localizan (urbanas, suburbanas y rurales) y la influencia o principal fuente emisora (tráfico, industriales y de fondo), Cuadro 2. Los datos proceden de las redes de calidad del aire de la Junta de Castilla y León (<http://servicios.jcyl.es/esco/index.action>), de la Comunidad de Madrid (http://gestiona.madrid.org/azul_internet/html/web/2.htm?ESTADO_MENU=2_1) y de la Generalitat Valenciana (<http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/datos-obtenidos-a-partir-de-la-rvvcca>). De las cuales se han obtenido los valores medios diarios de las concentraciones de CO₂ (mg/m³), NO₂, NO, O₃, PM₁₀, PM_{2,5} y SO₂ (µg/m³), desde el 1 de enero de 2018 hasta el 30 de septiembre de 2020.

Para los valores correspondientes a 24 h se requiere que el porcentaje de datos válidos sea al menos 75 % de las medias horarias, es decir, valores correspondientes a 18 horas como mínimo. [5]

Además, se han obtenido simultáneamente los datos meteorológicos de las estaciones meteorológicas más cercanas a las estaciones de medida de contaminantes (Cuadro 2) ya que afectan de forma directa en el aumento de los niveles de ciertos contaminantes. Se han descargado los valores medios diarios de la temperatura (Tmed, °C), la precipitación (Prec, mm), la velocidad del viento (Vmed, m/s) y la insolación (Sol, h), de la página web de la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET, (<https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>).

Los datos obtenidos están validados por las distintas redes de calidad del aire y por la AEMET, si bien una limitación de este estudio puede ser la distancia media que hay entre las estaciones de medida de contaminantes y las meteorológicas, por no estar ubicadas exactamente en la misma posición.

Cuadro 2. Ubicación de las estaciones de medida de contaminantes y de las estaciones meteorológicas.

Estación de medida de contaminantes y Tipo ¹	Latitud (°)	Longitud (°)	Estación meteorológica	Latitud (°)	Longitud (°)
Comunidad de Castilla y León					
Ávila 2 (U-B)	40°39'53" N	4°42'03" W	2444-Ávila	40°39' 33" N	4°40' 48" W
Burgos 4 (S-B)	42°20'05" N	3°38'14" W	2331-Burgos Aeropuerto	42°21'25" N	3°37'13" W
Miranda de Ebro 2 (U-T)	42°41'07" N	2°56'25" W	9051-Medina de Pomar	42°55'12" N	3°28'58" W
Segovia 2 (U-B)	40°57'21" N	4°06'38" W	2465-Segovia	40°56' 43" N	4°07'35" W
Zamora 2 (U-T)	41°30'32" N	5°44'53" W	2614-Zamora	41°30'56" N	5°44'7" W
Muriel de la Fuente (R-B)	41°43'25" N	2°51'25" W	2030-Soria	41°46'30" N	2°28'59" W
Ponferrada 4 (S-I)	42°32'34" N	6°35'6" W	1549- Ponferrada	42°33'50" N	6°36'0" W
La Robla (S-I)	42°48'06" N	5°37'30" W	2661-León, Virgen del camino	42°35'18" N	5°39'4" W
León 1 (U-T)	42°36'14" N	5°35'14" W			
Salamanca 5 (U-T)	40°58'45" N	5°39'55" W	2870- Salamanca	40°57'27" N	5°39'44" W
Guardo (U-I)	42°47'29" N	4°50'47" W	2235U- Cervera de Pisuerga	42°52'14" N	4°31'12" W
Palencia 3 (U-T)	42°01'04" N	4°32'26" W	2400E-Autilla del Pino	41°59'44" N	4°36'10" W
Medina del Campo (S-I)	41°18'55" N	4°54'37" W	2422- Valladolid	41°38'27" N	4°45'16" W
Arco de Ladrillo II (U-T)	41°38'36" N	4°43'52" W			
Valladolid 4 (U-I)	41°39'22" N	4°44'02" W			
Comunidad de Madrid					
Escuelas Aguirre 008 (U-T)	40°25'18" N	3°40'56" W	3195-Madrid Retiro	40°24'43" N	3°40'41" W
Farolillo 018 (U-B)	40°23'41" N	3°43'55" W			
Casa de Campo 024 (S-B)	40°25'10" N	3°44'50" W			
Alcalá de Henares (U-T)	40°28'46" N	3°22'41" W	3175-Torrejón de Ardoz	40°29'19" N	3°26'37" W
Torrejón de Ardoz (S-B)	40°26'58" N	3°28'40" W			
Rivas Vaciamadrid (S-B)	40°21'35" N	3°32'34" W			
Orusco de Tajuña (R-B)	40°17'15" N	3°13'16" W			
Leganés (U-T)	40°20'23" N	3°45'16" W	3200-Getafe	40°17'58" N	3°43'20" W
Alcorcón (U-B)	40°20'31" N	3°50'09" W			
Fuenlabrada (U-I)	40°16'53" N	3°48'03" W			
Villa del Prado (R-B)	40°14'53" N	4°16'31" W			
Majadahonda (S-B)	40°26'46" N	3°52'8" W	3191E- Colmenar Viejo	40°41'46" N	3°45'54" W
Colmenar Viejo (U-T)	40°39'53" N	3°46'26" W			
Collado Villalba (U-T)	40°37'59" N	4°00'51" W			
Guadalix de la Sierra (R-B)	40°46'50" N	3°42'08" W			

Comunidad Valenciana					
Alacant-Rabassa (S-I)	38°21'04" N	0°30'50" W	8025-Alacant	38°22'21" N	38°22'21" W
Elda-Lacy (S-I)	38°26'42" N	0°48'23" W			
Benidorm (R-B)	38°34'23" N	0°08'47" W			
Alcoi-Verge dels Liris (U-T)	38°42'23" N	0°28'01" W			
Torrevieja (U-T)	37°59'28" N	0°41'24" W	8019-Alacant Aeropuerto	38°16'58" N	0°34'15" W
Burriana (R-I)	39°53'32" N	0°03'54" W	8500-Castellón	39°57'26" N	0°04'19" W
L'Alcora (U-I)	40°04'05" N	0°12'25" W			
Castelló-Penyeta (U-I)	40°00'41" N	0°03'26" W			
Viver (S-B)	39°55'50" N	0°36'12" W			
Albalat dels Tarongers (S-I)	39°42'19" N	0°20'12" W	8416Y- Valencia	39°28'50" N	0°21'59" W
Buñol-Cemex (S-I)	39°25'38" N	0°47'02" W			
València-Avda. Francia (U-T)	39°27'27" N	0°20'34" W			
València-Molí del Sol (U-T)	39°28'52" N	0°24'30" W			
Quart de Poblet (U-T)	39°28'52" N	0°26'50" W			
Benigánim (U-B)	38°56'15" N	0°26'31" W	8414-Valencia Aeropuerto	39°29'06" N	0°28'29" W

¹ Las estaciones de medida de contaminantes se han agrupado según el tipo de área en el que se localizan (U: Urbana; S: Suburbana; R: Rural) y la influencia o principal fuente emisora (T: tráfico; I: industriales; B: de fondo).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se muestra la ubicación las estaciones de contaminantes y meteorológicas:



Figura 1. Mapa de las posiciones geográficas de las estaciones de medida de contaminantes del aire (chinchetas de color morado) y de las estaciones meteorológicas (nubes azules). (Google Maps)

6. RESULTADOS

6.1. Evolución de las medias diarias de los contaminantes durante el periodo enero-2018 a septiembre-2020

En primer lugar, se ha realizado un estudio sobre la evolución temporal de los valores medios diarios de cada contaminante químico en las tres comunidades. Se han agrupado las estaciones de medida de contaminantes en tres grupos: Urbanas (U-T, U-B), Industriales (U-I, S-I y R-I) y de Fondo (S-B y R-B) y se ha calculado el promedio de los valores medios diarios de cada contaminante con los datos de las estaciones incluidas en cada uno de los grupos.

Nos centramos en dos de los contaminantes químicos: el dióxido de nitrógeno y el ozono. Sobre el ozono se elaboran informes específicos por los graves problemas que causa a las personas y a la vegetación. [6]

La evolución del dióxido de nitrógeno (NO_2) está representada en las Figuras 2, 3 y 4.

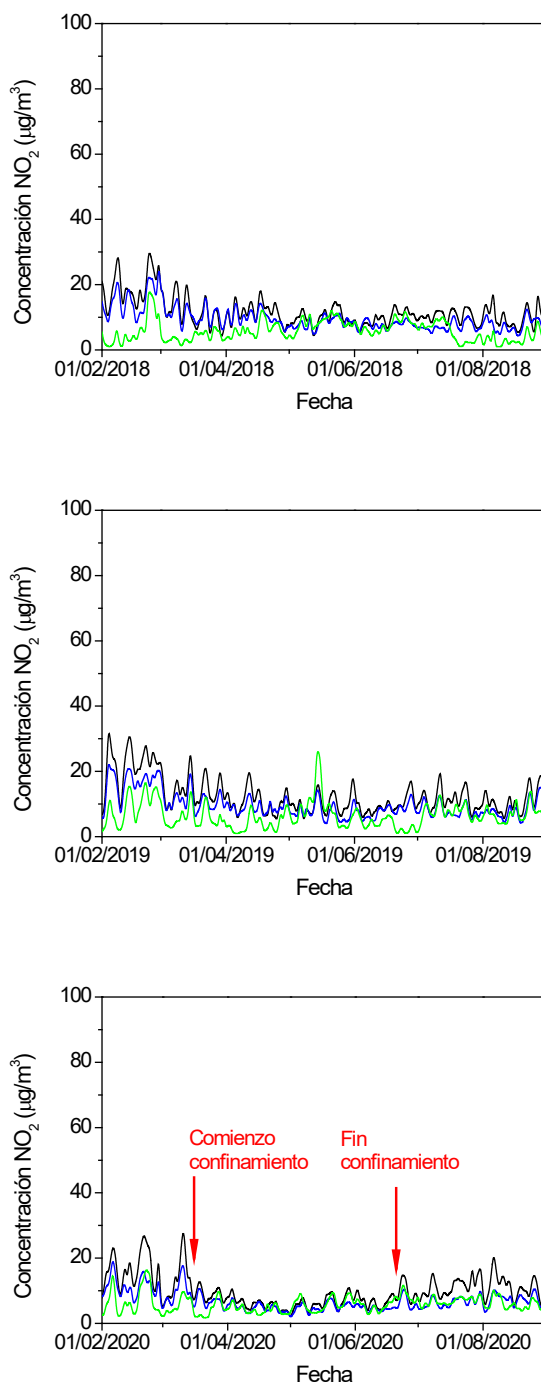


Figura 2. Diagrama de las medias diarias de dióxido de nitrógeno promediadas por tipo de estación: Urbanas (—), Industriales (—) y de fondo (—) en la Comunidad de Castilla y León del 01/02 al 31/08 durante el periodo 2018 al 2020. (Elaboración propia)

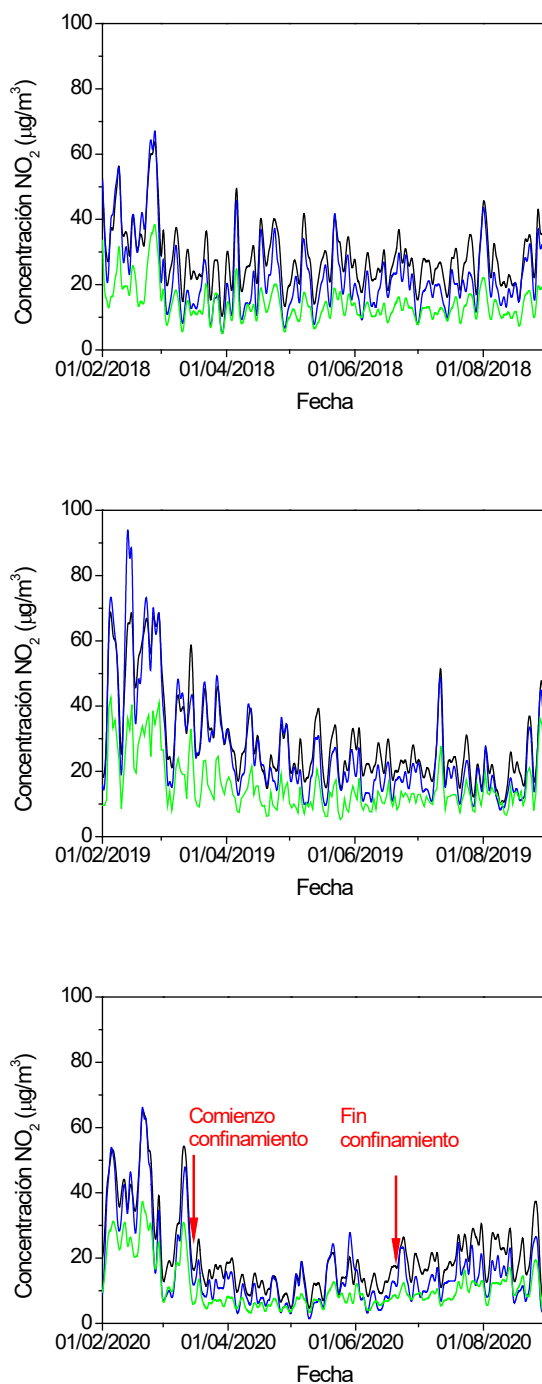


Figura 3. Diagrama de las medias diarias de dióxido de nitrógeno promediadas por tipo de estación: Urbanas (—), Industriales (—) y de fondo (—) en la Comunidad de Madrid del 01/02 al 31/08 durante el periodo 2018 al 2020. (Elaboración propia)

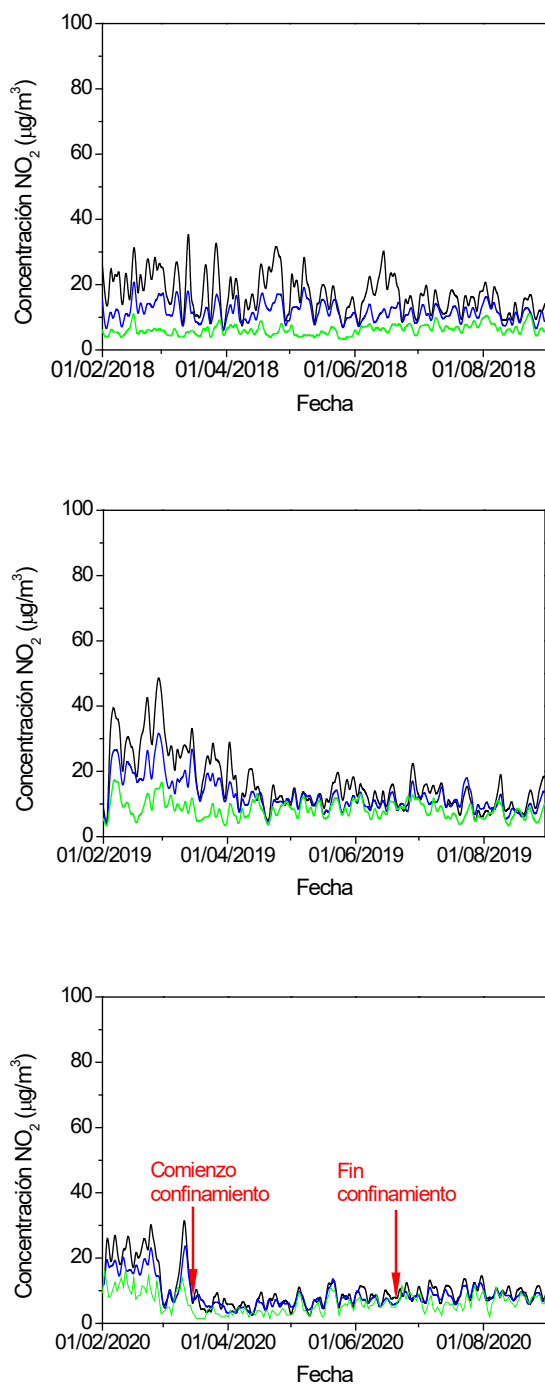


Figura 4. Diagrama de las medias diarias de dióxido de nitrógeno promediadas por tipo de estación: Urbanas (—), Industriales (—) y de fondo (—) en la Comunidad Valenciana del 01/02 al 31/08 durante el periodo 2018 al 2020. (Elaboración propia)

El ozono troposférico se genera tras la interacción de una serie de contaminantes precursores en presencia de la luz solar. Entre los principales precursores de ozono destacan el metano (CH_4), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y el monóxido de carbono (CO).

Los valores de ozono y de insolación solar se representan en las Figuras 5, 6 y 7, derecha e izquierda, respectivamente. En las Figuras 5 a 7 se aprecia que, en general, los perfiles de las concentraciones de ozono siguen a los de la insolación (intervalo de tiempo durante el cual la radiación solar alcanza intensidad suficiente para producir sombras bien diferenciadas) con un ligero desfase, esto es, cuando crecen los valores de la insolación, unos días después aumenta la concentración de ozono.

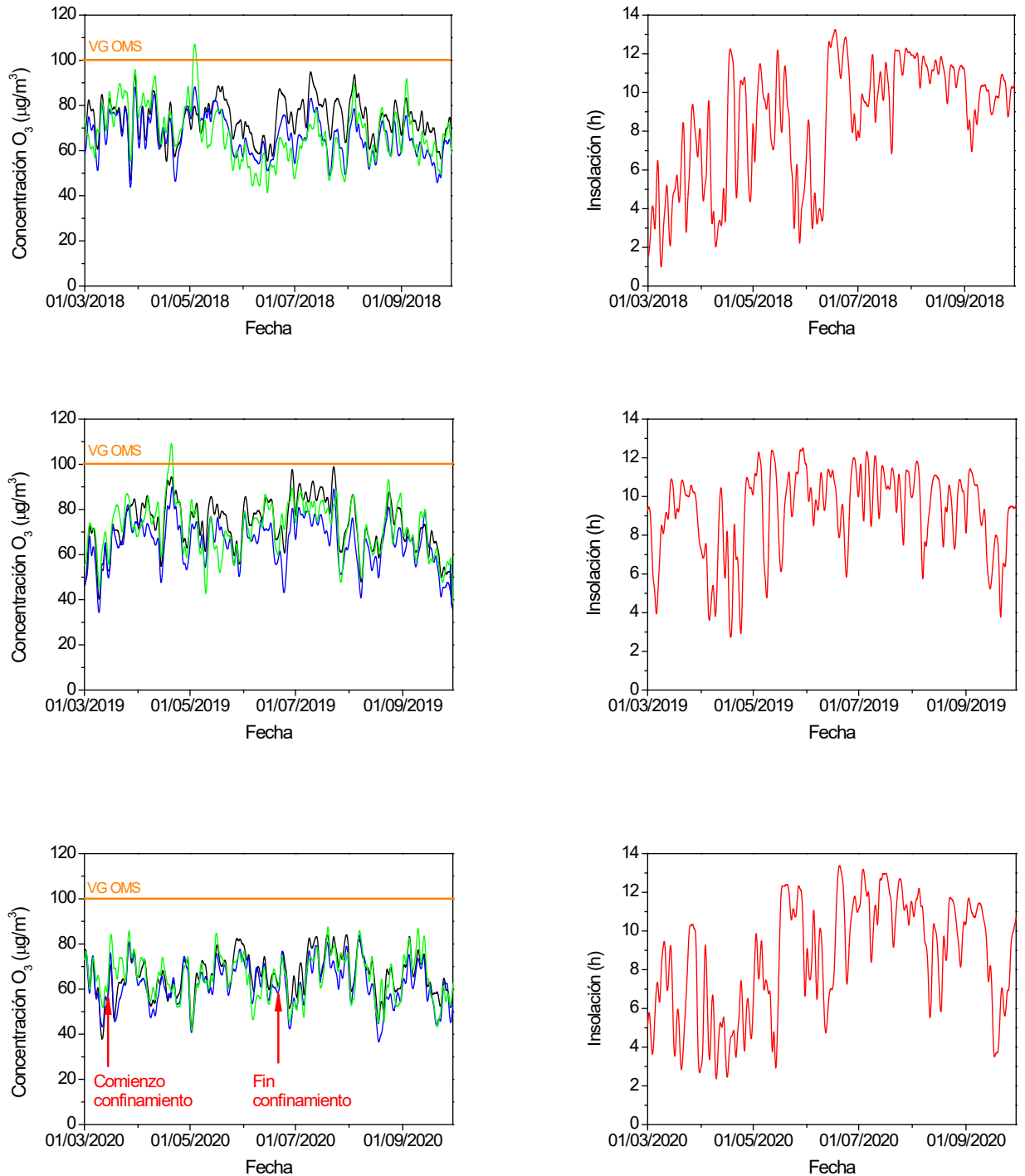


Figura 5. Diagrama de las medias diarias de ozono (izquierda) promediadas por tipo de estación: Urbanas (—), Industriales (—) y de fondo (—) e insolación promedio (derecha) en la Comunidad de Castilla y León del 01/03 al 30/09 durante el periodo 2018 al 2020. (Elaboración propia)

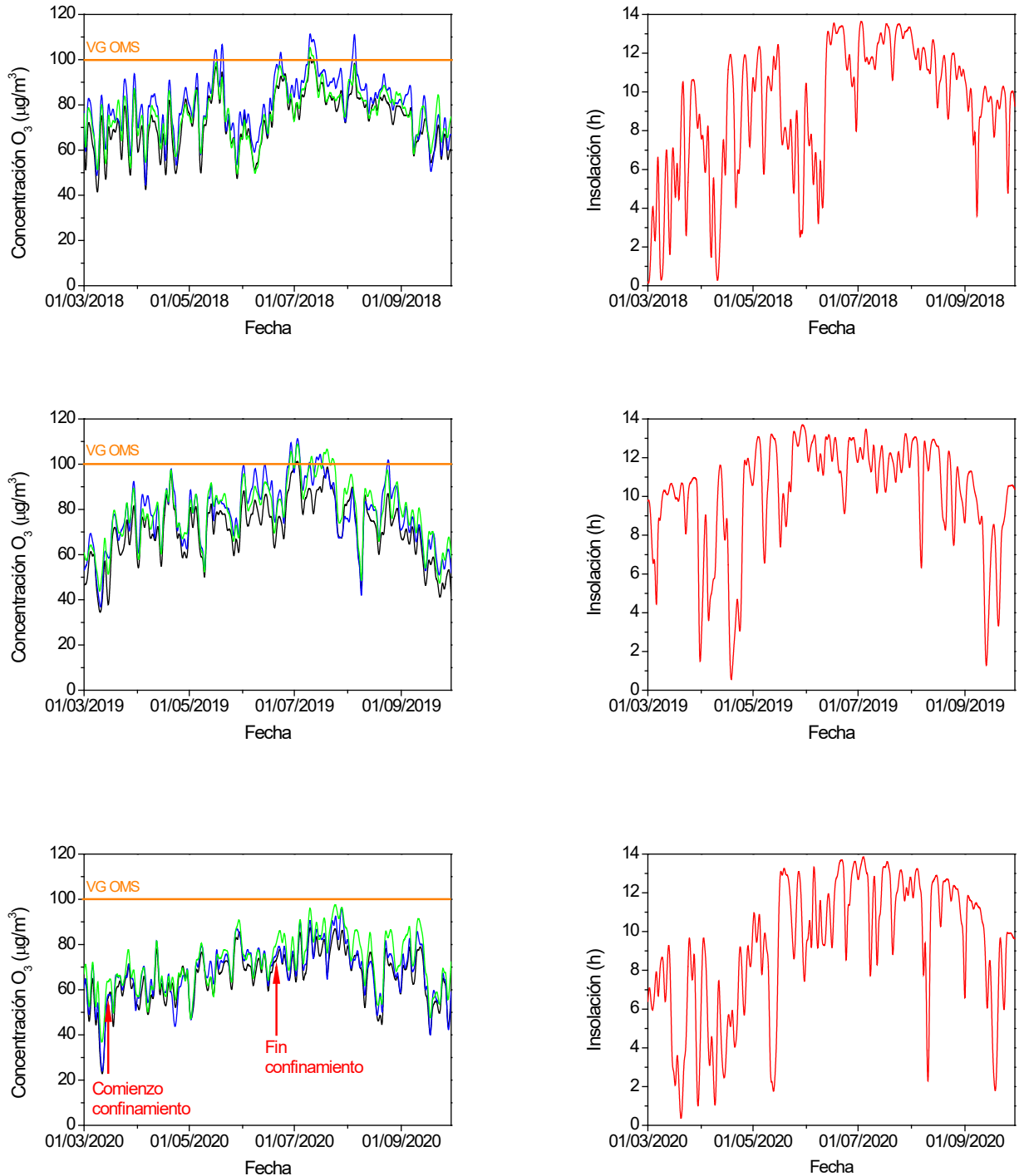


Figura 6. Diagrama de las medias diarias de ozono (izquierda) promediadas por tipo de estación: Urbanas (—), Industriales (—) y de fondo (—) e insolución promedio (derecha) en la Comunidad de Madrid del 01/03 al 30/09 durante el periodo 2018 al 2020. (Elaboración propia)

CONAMA 2020

ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE CALIDAD DEL AIRE Y PARÁMETROS METEOROLÓGICOS
EN CASTILLA Y LEÓN, COMUNIDAD VALENCIANA Y MADRID; PERIODO 2018-20

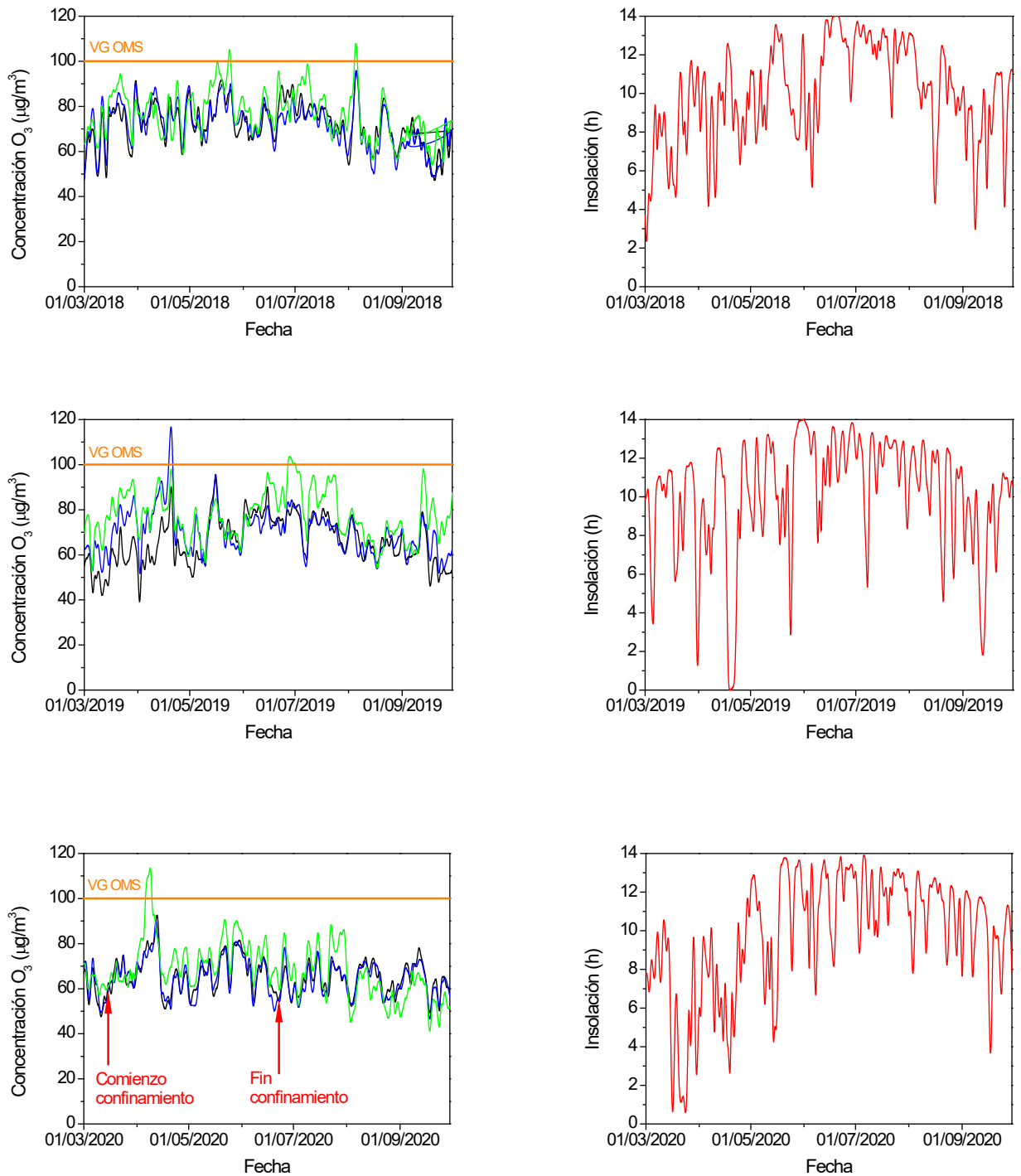


Figura 7. Diagrama de las medias diarias de ozono (izquierda) promediadas por tipo de estación: Urbanas (—), Industriales (—) y de fondo (—) e insolución promedio (derecha) en la Comunidad Valenciana del 01/03 al 30/09 durante el periodo 2018 al 2020. (Elaboración propia)

Se ha calculado la diferencia porcentual de los valores diarios promedios del 15 de marzo al 21 de junio de los años 2018 y 2019 con relación a los valores de las mismas fechas del confinamiento del año 2020, para el dióxido de nitrógeno y el ozono, Cuadro 3.

Cuadro 3. Diferencias porcentuales de los valores diarios promedios (NO₂ y O₃) por tipo de estación del periodo de confinamiento (15/03/2020 al 21/06/2020) respecto al mismo periodo de los dos años anteriores.

	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)			Ozono (O ₃)		
	Urbanas (%)	Industriales (%)	Fondo (%)	Urbanas (%)	Industriales (%)	Fondo (%)
C. Castilla y León	-30,88	-38,23	-0,97	-10,03	-5,68	-5,33
C. Madrid	-47,89	-44,92	-47,94	-7,37	-12,82	-7,16
C. Valenciana	-52,06	-41,68	-30,83	-10,80	-12,84	-8,88

Fuente: Elaboración propia.

Durante el confinamiento, debido a la casi nula utilización de los vehículos particulares, excepto los de los transportistas y del personal esencial y la reducción en la producción industrial, en las tres comunidades se ha producido una muy significativa caída en la concentración de NO₂ y también en la del O₃.

6.2. Análisis univariante

Los ajustes estadísticos se han realizado con el programa STATGRAPHICS Centurion 18. Version 18.1.11s, utilizando los valores medios diarios de las variables químicas y meteorológicas. En los Cuadros 4 y 5 se recogen los valores estadísticos promedios de los contaminantes atmosféricos y de las variables meteorológicas.

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

	CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	NO (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Nº de datos	19056	43187	43187	41194	39484	21314	30850
Promedio	0,27	15,91	6,69	60,25	16,16	9,36	4,05
Mediana	0,2	11,0	3,0	62,0	14,0	8,0	3,0
Desviación estándar	0,2	14,1	12,6	21,3	10,8	7,0	3,9
Coefficiente de Variación (%)	77,2	88,7	188,4	35,4	66,8	74,3	97,3
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	1,3	148,0	230,0	169,0	209,0	91,0	69,0
Rango	1,3	148,0	230,0	169,0	209,0	91,0	69,0
Sesgo estandarizado	72,9	155,5	452,8	-29,6	169,0	159,4	304,1
Curtois /Kurtosis Estandarizada	35,8	173,0	1676,5	-4,0	423,7	441,7	1060,4

Fuente: Elaboración propia.

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

	Tmed (°C)	Prec (mm)	Vmed (m/s)	Sol (h)
Nº de datos	44893	43253	44689	43943
Promedio	15,84	1,36	2,58	8,11
Mediana	15,5	0	2,2	9,0
Desviación estándar	7,4	5,3	2,3	4,1
Coefficiente de Variación (%)	46,5	388,4	89,2	49,9
Mínimo	-4,4	0	0	0
Máximo	33,8	152,8	85,0	14,9
Rango	38,2	152,8	85,0	14,9
Sesgo estandarizado	0,9	912,8	1569,7	-48,1
Curtois /Kurtosis Estandarizada	-41,7	8346,0	23763,2	-32,3

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Métodos multivariantes

6.3.1 Análisis Factorial

El análisis factorial es un tipo de técnica estadística multivariante que analiza las correlaciones entre varias variables, explicando el mayor porcentaje de varianza con un número menor de variables, a las que se denominan factores. Para reducir el número de factores se seleccionan aquellos que tengan un valor de autovalor superior a la unidad, ya que los datos están estandarizados. Con 4 factores se explica el 62 % de la varianza de las 11 variables estudiadas.

Siguiendo con el análisis factorial para 4 factores, se realiza el estudio aplicando la varianza máxima y rotación, obteniéndose así el Cuadro 6.

Cuadro 6. Matriz de cargas del factor después de aplicar la Rotación Varimax.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
CO (mg/m ³)	0,6993	0,0993	0,0324	0,3757
NO (µg/m ³)	0,8108	0,2573	0,0196	-0,1276
NO ₂ (µg/m ³)	0,7381	0,3248	0,0412	-0,2031
O ₃ (µg/m ³)	-0,6362	-0,0758	0,3116	0,3752
PM ₁₀ (µg/m ³)	0,1714	0,8923	0,1021	0,0037
PM _{2.5} (µg/m ³)	0,3069	0,8550	-0,0336	-0,0411
SO ₂ (µg/m ³)	0,1465	0,0093	-0,0121	0,0266
Tmed (°C)	-0,0312	0,0025	0,0316	-0,0129
Prec (mm)	-0,1764	0,0866	-0,8252	0,0583
Vmed (m/s)	-0,1051	-0,0323	-0,0659	0,8743

Sol (h)	-0,2693	0,2038	0,7678	0,0065
---------	---------	--------	--------	--------

Fuente: Elaboración propia.

El factor 1 explica el 28,8 % de la varianza total de los datos y depende directamente de los óxidos de nitrógeno, del monóxido de carbono y de las partículas $PM_{2,5}$ (marcado en verde). Depende inversamente del ozono (marcado en rojo). Es probable que este factor se correlacione con los procesos de contaminación antropogénica asociados a las combustiones fijas y móviles, cuya contribución individualizada se deduciría de la realización de un análisis estratificado por tipo de estación.

El factor 2 explica el 14 %, depende directamente de las partículas (PM_{10} y $PM_{2,5}$) y del NO_2 .

El factor 3 explica el 10 % de la varianza total de los datos y depende directamente de la insolación y del ozono, e inversamente de la precipitación; está relacionado con el ozono y las variables meteorológicas.

El factor 4 explica el 9 % de la varianza total de los datos y depende directamente de la velocidad media del viento.

6.3.2 Análisis Cluster

El análisis cluster se denomina análisis de conglomerados y es un análisis multivariante, el cual realiza una agrupación de las variables según semejanzas. La realización de este análisis permite obtener un resultado más visual de la relación entre las variables. Menores distancias indican mayor relación entre las variables agrupadas en el cluster.

En la Figura 8 (izquierda) se representa un dendograma con 2 clusters y a la derecha un dendograma con 5 cluster. En esta se observa que las dos variables más estrechamente relacionadas son los óxidos de nitrógeno que a su vez forman un grupo junto con las partículas (PM_{10} y $PM_{2,5}$) y el CO. Otro grupo claro está constituido por el ozono y la insolación que están claramente correlacionadas.

En el presente trabajo, hemos aplicado el Análisis "Cluster" mediante una metodología estadística de análisis de conglomerados siguiendo el Método de Agregación de Ward, utilizando la distancia euclídea.

Los dendogramas obtenidos por variables a partir del análisis cluster, cuyos resultados se expresan en la Figura 8, nos muestran de una manera preliminar que las 11 variables consideradas se agrupan en cuatro grupos: la precipitación es la variable más diferenciada, marcando una distancia clara respecto a las variables, tanto meteorológicas como químicas; el segundo agrupamiento, atendiendo a las distancias, nos señala al ozono y a las horas de insolación; en tercer lugar, un nuevo agrupamiento incluye al resto de las variables de calidad química del aire y finalmente la velocidad del viento y la temperatura constituyen el cuarto agrupamiento.

Introduciendo un mayor detalle en la explicación de la información proporcionada por el Análisis Cluster en la Figura 8, y atendiendo a las variables químicas, se puede concluir una estrecha vinculación entre las concentraciones de los dos tipos de óxidos de nitrógeno por un lado y entre las concentraciones de los dos tipos de partículas por otro; las concentraciones de CO y de SO_2

no evidencian una relación significativa con el resto de las variables. En cuanto a las variables meteorológicas no hay vinculaciones más estrechas de las ya descritas anteriormente.

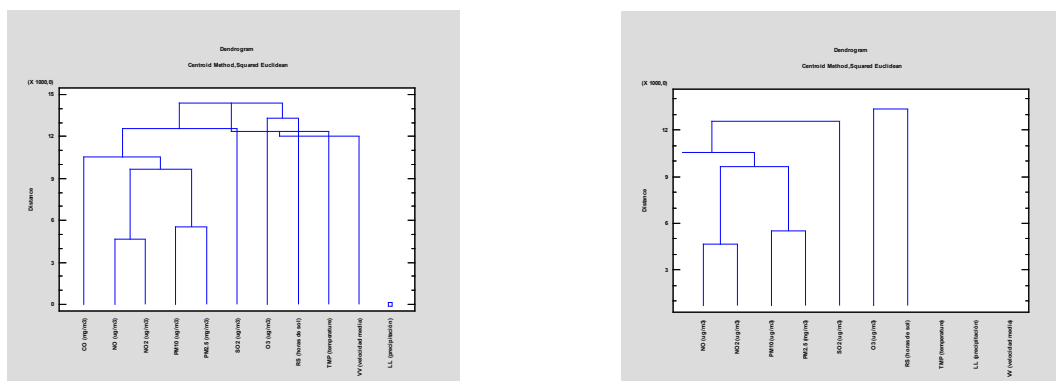


Figura 8. Dendrograma con 2 cluster (izquierda) y con 5 cluster (derecha). (Elaboración propia)

7. DISCUSIÓN

Evolución de las medias diarias de los contaminantes durante el periodo enero-2018 a septiembre-2020

En las tres comunidades se obtienen valores muy bajos del monóxido de carbono (CO), los valores de este contaminante en la Comunidad Valenciana son inferiores a los de Castilla y León y la Comunidad de Madrid. En ninguna de las comunidades autónomas se ha superado el valor límite diario (10 mg/m³). Un hecho a destacar es que durante el período marzo-junio de 2020, los valores de CO disminuyeron drásticamente, muy probablemente como consecuencia de la desaceleración económica y social provocada por la covid-19.

El monóxido de nitrógeno (NO) aumenta en todas las estaciones durante los meses fríos, observándose picos de concentración en dichos meses, que pueden deberse al tráfico y al calentamiento. La Comunidad de Madrid presenta valores muy altos de este contaminante en comparación con las otras dos comunidades estudiadas.

Los valores del dióxido de nitrógeno (Figuras 2, 3 y 4) son ligeramente más altos en los meses de invierno en las tres comunidades que en los meses de verano. En las tres comunidades, los valores más altos de NO₂ se producen en las zonas urbanas, seguidas de las industriales y por último en las de fondo, como era previsible. Sin embargo, ninguna de las dos comunidades supera los valores de Madrid, que presenta los valores más altos. Debido al confinamiento que se ha producido entre el 15 de marzo y el 21 de junio de 2020, los niveles de este contaminante han disminuido en un porcentaje mayor del 30 % en los tres grupos de estaciones. Sin embargo, después del confinamiento en la Comunidad de Madrid los niveles de NO₂ han crecido, a diferencia de Castilla y León y la Comunidad Valenciana, donde el aumento es más ligero.

Los valores de ozono (Figuras 5, 6 y 7, izquierda) están relacionados con la insolación solar (Figuras 5, 6 y 7, derecha). Cuando se aprecia una disminución de la duración efectiva de la insolación se observa una disminución del ozono troposférico formado para los años 2018 y 2019. En las tres comunidades, los valores más altos de O₃ se producen en las zonas de fondo, siendo muy parecidos en las zonas industriales y de tráfico. A pesar de que en 2020 los valores de insolación son similares a los de los años anteriores, los niveles de ozono son menores debido probablemente a la disminución de sus precursores, produciéndose una caída comprendida entre un 5 y casi de un 13 % en los tres tipos de agrupaciones de estaciones. La reducción drástica del tráfico debido al confinamiento ha contribuido a que no se alcanzaran unos niveles de ozono tan elevados como en los años anteriores, aun así, en las Comunidades de Castilla y León y Madrid se ha superado el valor guía de la OMS de 100 µg/m³.

El ozono troposférico muestra niveles elevados en zonas rurales y suburbanas, originado principalmente por la alta insolación y por los niveles de emisión de sus precursores, como es habitual en España. [7]

En el año 2020 se observa que en las tres comunidades autónomas, a pesar de que los valores de insolación son similares a los de los dos años anteriores, los valores de ozono son menores debido, probablemente, a la drástica reducción tanto en el tráfico como en la actividad industrial durante el confinamiento.

En las tres Comunidades se supera en bastantes ocasiones el valor de 50 µg/m³ para las PM₁₀, especialmente en la Comunidad Valenciana, donde prácticamente todos los valores están por encima del límite. El número de episodios en la región de Castilla y León es aproximadamente la mitad a los producidos en la Comunidad de Madrid. La diferencia en los valores tan elevados encontrados en la Comunidad Valenciana puede deberse al aerosol marino. [8], [9]

La misma situación sucede con las PM_{2,5}, donde el valor de 10 µg/m³ se supera constantemente en las tres Comunidades, pero sobre todo en la Valenciana, donde muchos de los datos sobrepasan el valor de 25 µg/m³, seguida por la de Madrid y Castilla y León, donde los valores suelen estar por debajo del límite.

Para el último de los contaminantes estudiados, el SO₂, Castilla y León presenta los valores más altos en relación a las otras dos Comunidades, siendo más elevados en otoño e invierno. Castilla y León sobrepasa en numerosas ocasiones el valor guía de la OMS de 20 µg/m³ como valor medio diario, incluso la Comunidad Valenciana presenta un comportamiento parecido en 2020. La Comunidad de Castilla y León contaba con cuatro centrales térmicas (en diciembre de 2018 se cerró una y las tres restantes se desconectaron en junio de 2020), mientras que la Comunidad Valenciana sólo tiene dos y Madrid ninguna.

8. CONCLUSIONES

Las mayores diferencias observadas entre estas comunidades han sido los bajos niveles de CO en la Comunidad Valenciana, los altos niveles de NO y NO₂ en las tres comunidades y especialmente en la Comunidad de Madrid, los altos niveles de ozono en verano en todas las comunidades, principalmente en las zonas rurales y suburbanas, los altos niveles de material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) en la Comunidad Valenciana y los altos niveles de SO₂ en Castilla y León.

Gracias a los métodos de análisis multivariantes, se ha apreciado la relación entre los diferentes contaminantes y las variables meteorológicas. Es destacable la clara correlación entre el ozono troposférico y la irradiación solar diaria, así como entre los óxidos de nitrógeno, y ambos con el ozono, lo que demuestra que los NO_x son los principales precursores del ozono.

Un aspecto a destacar en todas las comunidades ha sido la influencia del receso en la actividad económica y social causado por la covid-19, alcanzando los niveles más bajos de todo el período en los contaminantes NO₂ y O₃, principalmente provenientes de fuentes antropogénicas.

El confinamiento al que nos hemos visto sometidos desde el 15 de marzo hasta el 21 de junio para hacer frente a la pandemia de la covid-19, ha conseguido reducir notablemente los niveles de contaminación en las ciudades, sobre todo en dióxido de nitrógeno y en ozono.

La tendencia a la baja de la concentración de los contaminantes químicos es debida al efecto de las restricciones asociadas a la covid-19 y no se controla completamente por los factores meteorológicos, aunque algunos de ellos como el viento, contribuiría a una mayor dispersión, y la lluvia haría que disminuyeran también, por lo que no se pueden sacar conclusiones definitivas al respecto.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Querol, X., Alastuey, A., Pandolfi, M., Reche, C., Perez, N., Minguillon, M. C., . . . Reina, F. (2014). 2001-2012 trends on air quality in Spain. *Science of the Total Environment*, 490, 957-969. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.05.074
- [2] Borge, R., Requia, W. J., Yague, C., Jhun, I., & Koutrakis, P. (2019). Impact of weather changes on air quality and related mortality in Spain over a 25 year period 1993-2017. *Environment International*, 133. doi:10.1016/j.envint.2019.105272
- [3] Sanjuanes Serna, Judit (2020). "Estudio de la calidad del aire y valores meteorológicos en Castilla y León y Comunidad Valenciana mediante análisis estadístico: años 2018 y 2019". Trabajo de Fin de Grado (TFG). Facultad de Ciencias. Universidad de Burgos (UBU). 25 pp.
- [4] Bárcena Martín, Elisa (2020). "Air quality data assessment and meteorological data analysis in Castilla y León, Comunidad Valenciana and Comunidad de Madrid through statistical analysis: jan. 2018-may. 2020". Trabajo de Fin de Grado (TFG). Facultad de Ciencias. Universidad de Burgos (UBU). 25 pp.
- [5] Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. Descargado de: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-1645-consolidado.pdf>
- [6] Ceballos, M. Á. (2020). Informe La contaminación por ozono en el Estado español durante 2020: Ecologistas en Acción. Recuperado de: <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2020/11/informe-ozono-2020.pdf>
- [7] Evaluación de la calidad del aire en España. Año 2019. (2020) Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/images/es/informeevaluacioncalidadairespana2019_tcm30-

[510616.pdf](#)

- [8] Lana, M. A. (2012). Marine aerosols, their precursors and their influence on clouds over the global ocean. Tesis Doctoral.
- [9] PM₁₀ y PM_{2,5} en A Coruña en 2014 y la influencia del aerosol marino. (2015). Recuperado de:
https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/caire/informes/ESTUDIO/GL/Informe_Aerosol_Marino_Coruna.pdf