

Mejora del dimensionamiento de una red de calidad del aire mediante el empleo de métodos estadísticos multivariantes

Improvement of the dimension of an air quality monitoring network by means of multivariate statistical methods

■■■■
Marta Doval-Miñarro¹, Jose A. Egea² y Ginesa Navarro-Cobacho¹

¹ Universidad Politécnica de Cartagena (España)

² CEBAS-CSIC (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9250>

1. INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 102/2011 de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, transpone a la legislación nacional la Directiva europea 2008/50/EC. En su Anexo IV establece el número mínimo de estaciones de medida fijas necesarias para llevar a cabo el control atmosférico en función del número de habitantes en cada zona o aglomeración.

Las técnicas estadísticas multivariantes se pueden definir como el conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente conjuntos en los que hay varias variables medidas para cada individuo u objeto estudiado. Tal es el caso de los datos recogidos por las estaciones de vigilancia de las redes de calidad del aire: en cada estación se miden diferentes contaminantes y de cada uno de ellos se tiene un dato cada cierto tiempo. El análisis de componentes principales (ACP) es posiblemente la técnica estadística multivariante más empleada en el campo de contaminación ambiental. Concretamente, en calidad de aire, ha sido utilizada en numerosos estudios para determinar el origen de la contaminación atmosférica [1]–[5] y para optimizar el número y la ubicación de las estaciones de medida [6]–[13]. Sin embargo, se ha observado que, en la gran mayoría de trabajos, se aplica a contaminantes de forma individual. Como se ha comentado, lo habitual es que en las estaciones de vigilan-

cia ambiental se midan varios contaminantes simultáneamente de forma que las redes son compartidas por todos ellos y no independientes. En este sentido, a la hora de saber si la red está sobredimensionada es importante llevar a cabo el análisis estadístico de forma global con todos los contaminantes. Sólo se han encontrado dos estudios que procedan de esta forma [14], [15] y, en ningún caso, se ha realizado una comparación de los resultados con los requisitos de la Directiva 2008/50/EC.

En el presente trabajo se pretende mostrar la utilidad de dos métodos multivariantes (ACP y el análisis de conglomerados o clúster (AC)) para detectar

redundancias en las estaciones que conforman una red de vigilancia atmosférica, así como para determinar patrones de comportamiento similares entre los contaminantes atmosféricos regulados. La metodología se ha aplicado a la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Región de Murcia (RVCARM), pero es fácilmente extrapolable a cualquier otra red de vigilancia. Además, se pretende conocer la adecuación de los criterios del Real Decreto 102/2011 para asignar el número de estaciones en una zona o aglomeración por comparación del número de estaciones derivado de la legislación con los resultados obtenidos del ACP.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

A efectos de gestión de la calidad del aire, la Región de Murcia está dividida en 6 zonas homogéneas (Figura 1), atendiendo a sus características geográficas, a las actividades humanas y ambientales que en ellas se desarrollan y al tipo de contaminación predominante [16]. Las zonas

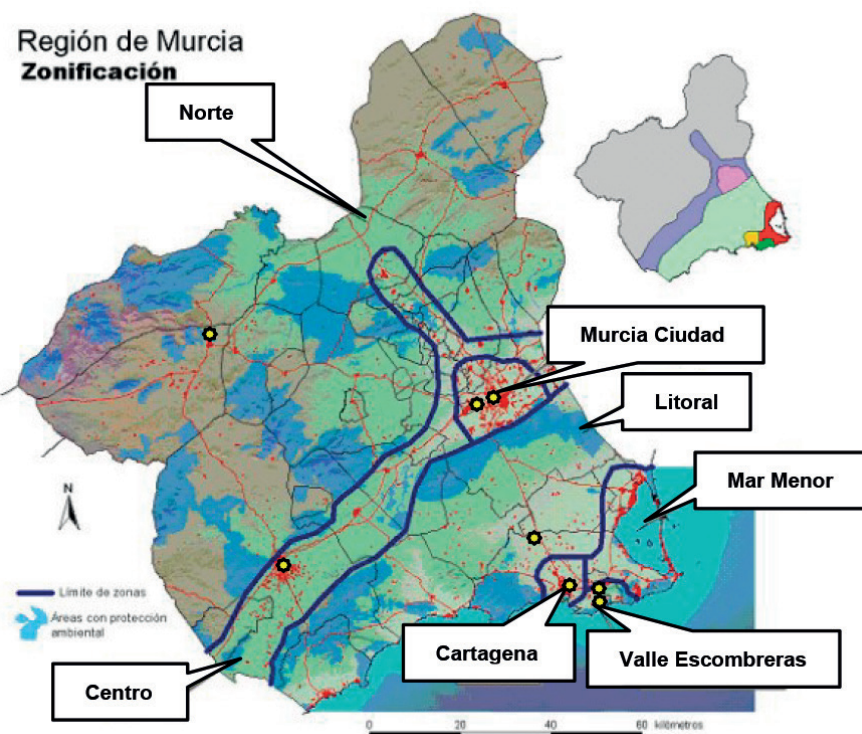


Fig. 1: Zonificación de la RVCARM [16]. Los marcadores amarillos representan las estaciones fijas de vigilancia ambiental. Zona Norte (Caravaca), zona Centro (Lorca), zona Murcia Ciudad (San Basilio y Alcantarilla), zona Litoral-Mar Menor (Aljorra), zona Cartagena (Mompeán) y zona Valle de Escombreras (Escombreras and Alumbres)

	ESTUDIO 1: Contaminantes: NO, NO ₂ , SO ₂ , O ₃ y PM ₁₀	ESTUDIO 2: Campo de Cartagena: Contaminantes: NO, NO ₂ , SO ₂ , y PM ₁₀
Estaciones	Aljorra	Aljorra
	Alumbres	Alumbres
	Mompeán	Mompeán
	Alcantarilla	Escombreras
	San Basilio	
	Lorca	

Tabla 1. Conjuntos de datos empleados para evaluar patrones de emisión de contaminantes atmosféricos y la redundancia de las estaciones de medida

Norte, Centro y Litoral – Mar Menor tienen gran valor ecológico y cuentan con actividades agrícolas, ganaderas y de industria media. La zona de Murcia es un área típicamente urbana, mientras que la zona de Valle de Escombreras es un área industrial. La zona de Cartagena es una zona tanto urbana como industrial. En la actualidad, existen 8 estaciones fijas de vigilancia y 2 móviles repartidas en las 6 zonas anteriores. Todas las zonas tienen una estación fija de vigilancia, salvo la zona del Valle de Escombreras y Murcia, que cuentan ambas con dos estaciones. En este estudio solo se tendrán en cuenta las estaciones fijas.

2.2. ANÁLISIS DE DATOS Y TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

2.2.1. Obtención de datos

Los datos empleados en este estudio son públicos y están disponibles en la página web de la calidad del aire de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (<https://sinqlair.carm.es/calidadaire/>).

2.2.2. Lenguaje de programación R

Todos los cálculos de este trabajo se han realizado con el software libre R [17].

2.2.3. Análisis de componentes principales (ACP)

La idea central del ACP es reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos que contienen un gran número de variables interrelacionadas, mientras se retiene la máxima variabilidad posible de las componentes principales (PCs). Éstas no están correlacionadas y se ordenarán de tal forma que unas pocas retengan la mayor parte de la variabilidad presente en todas las variables originales [18]. Su finalidad es la representación de los datos originales en un nuevo espacio ortogonal de funciones que representan los modos principales de variación del sistema. Los modos de variación son las funciones ortogonales empíricas (EOFs) y se corresponden con los vectores propios de la matriz de correlación o covarianza de los datos originales. Las proyecciones de los datos originales en es-

tas nuevas funciones reciben el nombre de componentes principales, siendo su característica principal la inexistencia de correlación entre ellas [19], [20].

Existen diferentes criterios para la selección del número de componentes. En este trabajo se emplearán el criterio de Kaiser y el criterio de la proporción de variabilidad explicada (que suele ser normalmente superior a 0,8 o 0,9).

2.2.4. Análisis cluster (AC)

El análisis de conglomerados (clusters) tiene por objeto agrupar elementos en grupos homogéneos en función de las similitudes o similitudes entre ellos. Los métodos de clústering se dividen en jerárquicos y no jerárquicos. Dentro de los métodos jerárquicos el más empleado es el método de Ward, que ha sido el utilizado en este estudio. Es un método de clústering muy popular que empieza con un único miembro de un grupo, aglomerando dos grupos en cada paso, hasta que todos los datos están en un único grupo, tras n-1 pasos. El criterio para elegir qué par de grupos se unen en cada paso es el siguiente: entre todas las formas posibles de aglomerar en grupos de dos, el par que se une es aquel que minimiza la suma del cuadrado de las distancias entre los puntos y los centroides de sus respectivos grupos. Los resultados de un análisis clúster suelen ser mostrados mediante el uso de un dendrograma o un diagrama de árbol.

2.3. METODOLOGÍA

Se han aplicado las técnicas de análisis multivariante ACP y AC para determinar patrones comunes de emisión de los contaminantes atmosféricos y estudiar la posible redundancia de información en las estaciones de medida. Para ello, se seleccionaron todas las estaciones de la RVCARM con datos de óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃) y materia particulada < 10 µm (PM₁₀), para el período 2010-2015 inclusive, que es el único en donde existen mediciones de todos los contaminantes en todas las estaciones

estudiadas. Las únicas estaciones que no dispusieron de todos los datos fueron:

- 1. La del Valle de Escombreras, donde no se mide el O₃. Para no dejar esta estación fuera del análisis, se realizó un segundo estudio centrado en la zona del Campo de Cartagena, una comarca con un importante tejido industrial, considerando todos los contaminantes a excepción del ozono.
- 2. La de Caravaca, en la que no se mide el SO₂. Esta estación no ha sido considerada en ninguno de los dos estudios realizados.

En la Tabla 1 se resumen los dos conjuntos de datos empleados.

Para cada estación y contaminante se descargaron medias diarias en los años estudiados. A continuación, se realizó la media anual de estos valores, y posteriormente, una media global, con lo que se obtuvo un valor medio de concentración para cada contaminante y estación para el periodo de años con datos disponibles. Estos valores medios globales se consideran característicos de cada estación en el período de tiempo estudiado, lo cual viene refrendado por los bajos valores de desviación típica observados y mostrados en la siguiente sección.

3. RESULTADOS

3.1. MEDIAS GLOBALES DE LOS CONTAMINANTES ESTUDIADOS POR ESTACIÓN

Las medias globales para cada contaminante en cada estación se recogen en la Tabla 2.

3.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

3.2.1. Estudio 1

Tras el ACP realizado con los datos del Estudio 1 se observó que con dos componentes se explica al menos un 87% de la variabilidad de los datos. Además, el Criterio de Kaiser (desviación estándar mayor o igual que 1) refrendaría la elección de dos

Estación	NO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM ₁₀
Aljorra	5,37 (1,04)	13,40 (3,23)	6,52 (0,91)	62,24 (9,66)	28,83 (1,65)
Alumbres	4,52 (1,24)	15,67 (2,78)	12,38 (3,08)	66,95 (4,95)	23,25 (0,94)
Mompeán	10,48 (1,32)	26,18 (3,82)	9,29 (1,87)	54,03 (7,75)	24,86 (1,93)
San Basilio	20,10 (2,82)	39,34 (4,97)	5,97 (1,63)	50,66 (3,98)	31,85 (3,56)
Alcantarilla	11,63 (3,12)	26,19 (3,47)	4,69 (1,68)	59,41 (2,01)	24,24 (1,67)
Lorca	3,66 (1,21)	12,97 (2,24)	7,62 (1,57)	76,02 (9,74)	25,82 (2,67)

(a)

Estación	NO	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀
Aljorra	5,37 (1,04)	13,40 (3,23)	6,52 (0,91)	28,83 (1,65)
Alumbres	4,52 (1,24)	15,67 (2,78)	12,38 (3,08)	23,25 (0,94)
Mompeán	10,48 (1,32)	26,18 (3,82)	9,29 (1,97)	24,86 (1,93)
Escombreras	8,72 (2,29)	21,32 (4,20)	14,49 (2,10)	24,68 (2,32)

(b)

Tabla 2. Medias globales (µg/m3) de las estaciones del Estudio 1 (a) y de las estaciones del Estudio 2 (b). Desviaciones estándar entre paréntesis.

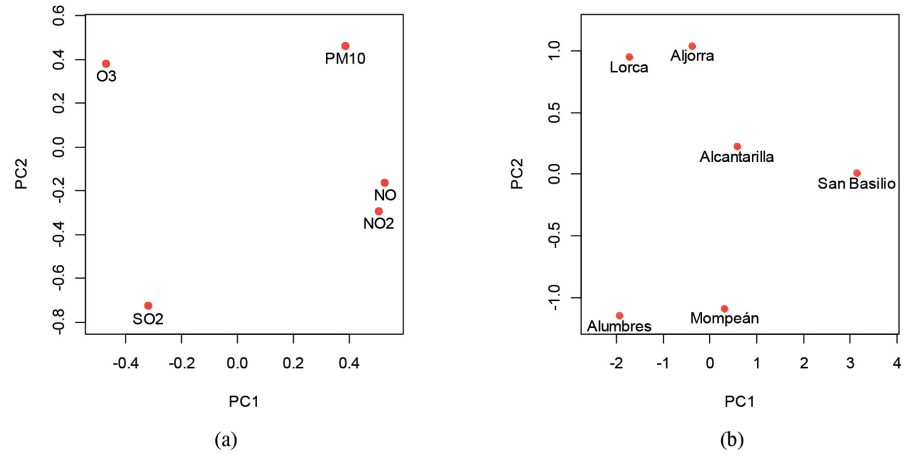


Fig. 2: Gráficas ACP para el análisis de contaminantes de todas las estaciones en función de los contaminantes estudiados (a) y en función de las estaciones de medida (b), para el Estudio 1

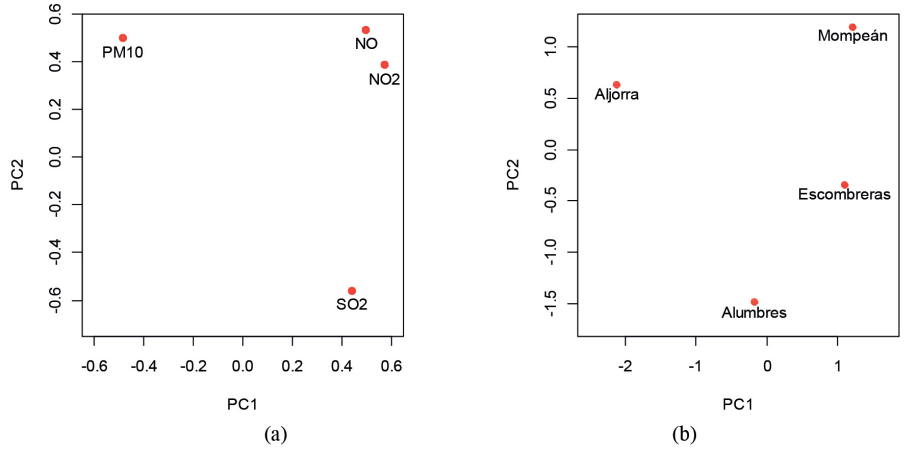


Fig. 3: Gráficas ACP para el análisis de contaminantes de todas las estaciones en función de los contaminantes estudiados (a) y en función de las estaciones de medida (b), para el Estudio 2

componentes (Tabla S1). Asimismo, se generaron dos gráficos donde se representan las componentes 1 y 2 seleccionadas en función de los contaminantes estudiados (Figura 2a) y en función de las estaciones de medida (Figura 2b).

La componente 1 relaciona a los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) y los contrapone al O₃ y en menor medida al SO₂

y PM₁₀, por lo tanto, las localizaciones que aparezcan a la derecha (San Basilio) presentarán altos niveles de NO y NO₂ con respecto al resto, mientras que las poblaciones que aparezcan en el lado izquierdo (Lorca y Alumbres) presentarán altos niveles de O₃.

En cuanto a la componente 2, es un poco más compleja de analizar porque

combina las variables PM₁₀, SO₂ y O₃. Así, poblaciones que aparezcan en la parte superior de la Figura 2b (Aljorra y Lorca) presentarán la siguiente combinación: altos niveles de PM₁₀, bajos niveles de SO₂ y altos niveles de O₃, mientras que las poblaciones que aparezcan en la parte inferior de la Figura 2b (Alumbres, Mompeán) presentarán altos niveles de SO₂, bajos niveles de PM₁₀ y relativamente altos niveles de O₃.

Observando las Figuras 2a y 2b se deduce que Alumbres y Aljorra son dos estaciones que se encuentran muy contrapuestas, al igual que ocurre con Lorca y San Basilio.

3.2.2. Estudio 2

En la Tabla S2 se observa que la proporción acumulada de variabilidad supera el 0,9 con dos componentes. Igualmente, el criterio Kaiser verifica que con dos componentes queda explicada gran parte de la información. En la Figura 3 se representan las componentes 1 y 2 seleccionadas en función de los contaminantes estudiados (Figura 3a) y en función de las estaciones de medida (Figura 3b).

La componente 1 contrapone el NO₂ con PM₁₀, por tanto, poblaciones que aparezcan a la derecha en la Figura 3b (Mompeán) presentarán altos valores de NO₂ y bajos PM₁₀, mientras que poblaciones que aparezcan a la izquierda (Aljorra) presentarán altos niveles de PM₁₀ y bajos de NO₂.

En la componente 2 se contraponen el NO con el SO₂, por tanto, poblaciones que aparezcan arriba en la Figura 3b (Mompeán y Aljorra) presentarán simultáneamente valores elevados de NO y bajos de SO₂, mientras que poblaciones situadas abajo (Alumbres) presentarán valores mayores de SO₂ y menores de NO.

Observando las Figuras 3a y 3b se deduce que Mompeán y Aljorra son dos

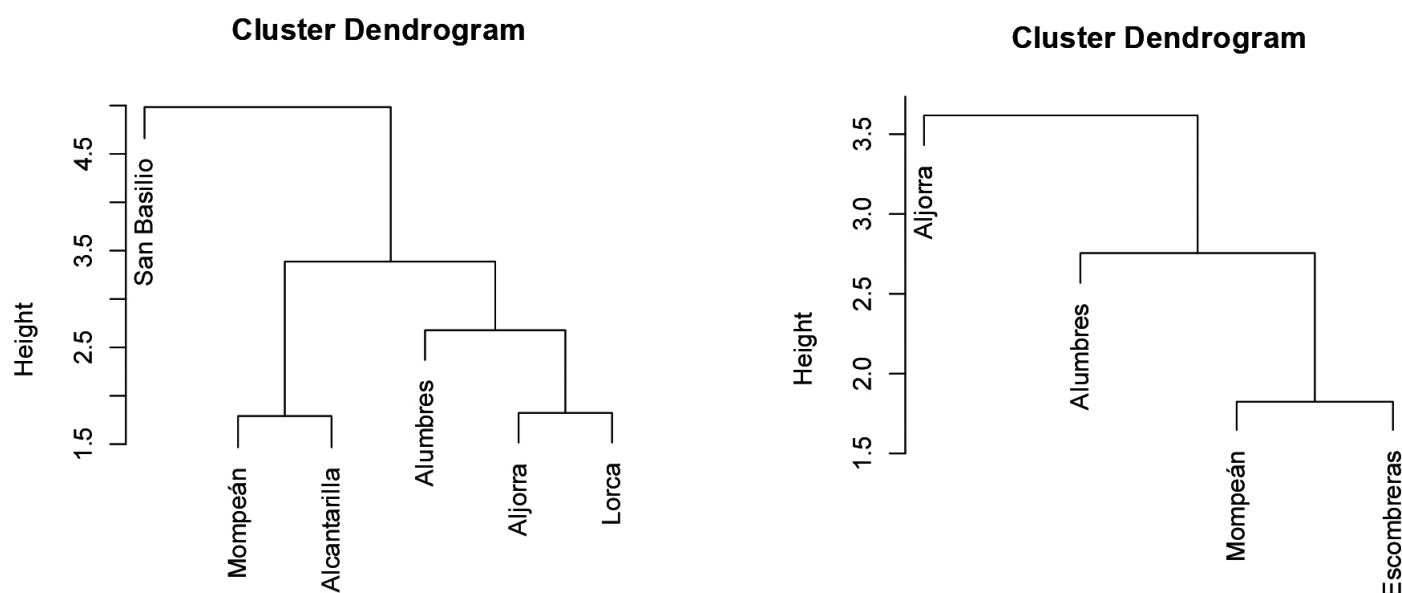


Fig. 4: Dendrograma Cluster del Estudio 1 (a) y del Estudio 2 (b)

estaciones que se encuentran muy contrapuestas. Si comparamos las estaciones con las concentraciones de los contaminantes podemos observar que Alumbres y Valle de Escombreras tendrán mayores concentraciones de SO_2 mientras que Aljorra destaca por valores muy grandes de PM_{10} . Por otro lado, Mompeán tendrá valores elevados de concentración de NO y NO_2 .

3.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS CLUSTER

3.3.1. Estudio 1

En el dendrograma de la Figura 4a se observa que a un nivel de distancia reescalada mayor se advierten 2 grupos diferenciados, mientras que a un nivel de distancia menor se advierten 3 grupos.

El dendrograma se corresponde con la primera componente principal mostrada en el análisis de componentes principales, donde San Basilio aparece en un grupo aparte, principalmente por su elevada ratio entre concentraciones de óxidos de nitrógeno frente a O_3 comparada con el resto. A medida que nos desplazamos a la derecha en el dendrograma esta ratio va disminuyendo.

3.3.2. Estudio 2

Con los datos del Estudio 2 se obtiene el dendrograma de la Figura 4b. El número de clusters seleccionados en este caso estará entre 2 y 3. Como puede observarse, Escombreras y Mompeán se separan por un lado, Aljorra por otro, y Alumbres quedaría en medio de esos dos grupos aunque

en la misma rama que Mompeán y Escombreras.

4. DISCUSIÓN

Como puede verse en las Figuras 2b y 3b, las estaciones de la RVCARM en su conjunto y las del campo de Cartagena, según las dos primeras componentes principales, están relativamente dispersas. No existen grupos de estaciones demasiado cercanas en el gráfico en ningún caso. Esto es indicativo de que, a pesar de haber estaciones que están bastante cerca geográficamente, no presentan las mismas características en cuanto a concentración de contaminantes, con lo que se descartaría la sospecha de que podría haber redundancia o exceso de estaciones de medición en estas zonas.

El número de estaciones consideradas en este análisis (7) coincide con el número total de estaciones que se desprende del Real Decreto 102/2011 en función del número de habitantes de cada zona; no obstante, cabe recordar que la estación de Caravaca no ha sido tomada en cuenta en el análisis. Esto es, la RVCARM tiene una estación más que las exigidas en la legislación. Un análisis más completo requeriría disponer de datos de SO_2 en Caravaca de modo que se pudiera tener en cuenta esta estación en los análisis y comprobar si sus datos son redundantes o no con los de alguna otra estación de la red. En cualquier caso, el requisito poblacional que establece cuántas estaciones deben instalarse en una zona o aglomeración debe complementarse con otros

criterios que contemplen, entre otros, la elevada presencia de tejido industrial o turístico en una determinada área. Así, por ejemplo, en la zona del Valle de Escombreras de acuerdo con la legislación solo es necesaria una estación de medida; sin embargo, el ACP revela que las medidas realizadas en Alumbres y el Valle de Escombreras son complementarias y no redundantes.

Tanto para los datos del Estudio 1 como los del 2, se observa que los contaminantes medidos tienen procedencias diferentes, a excepción del NO y el NO_2 , que aparecen relativamente próximos en las gráficas de ACP. Estas dos especies proceden del tráfico principalmente y, aunque el compuesto emitido en mayor proporción es el NO , se oxida rápidamente a NO_2 en contacto con el aire. En relación al SO_2 , si bien parte procede del tráfico, puede así mismo emitirse en instalaciones industriales en donde haya procesos de combustión de combustibles convencionales. Tal es el caso de la zona del Valle de Escombreras, en donde aparte de otras importantes industrias químicas, se encuentra una de las refinerías de petróleo más grandes del país, y presenta las mayores concentraciones medias de SO_2 en la Región. La fracción PM_{10} es emitida en parte por el tráfico rodado, pero también tiene una importante componente de origen natural, como las típicas intrusiones de polvo sahariano que afectan a esta región cada cierto tiempo. Por último, el O_3 es un contaminante secundario con dinámicas de formación totalmente diferentes del resto de contaminantes medidos.

Según se vio en el estudio 1, la PC1 contrapone al O_3 con los óxidos de nitrógeno, lo cual es esperable dado que el primero se forma a partir de los segundos.

El AC, por su parte, ha revelado que las estaciones del Estudio 1 pueden agruparse en tres grandes grupos, uno de ellos formado exclusivamente por la estación de San Basilio, otro por Mompeán y Alcantarilla, y el tercero por Alumbres, Aljorra y Lorca, según el balance NO_2 / O_3 comentado anteriormente. En relación al Estudio 2, se observan entre dos y tres grupos, en este caso según el balance NO_2 / PM_{10} . Por un lado, aparece Aljorra, por otro Mompeán y Escombreras, y entre ambos, Alumbres. Si bien las estaciones dentro de cada grupo tienen características similares, el análisis ACP ha revelado que en ningún caso existen redundancias entre estaciones.

5. CONCLUSIONES

Tras aplicar los métodos ACP y AC, se deduce que no existe redundancia en la información proporcionada por las estaciones estudiadas, de modo que todas ellas son necesarias para la correcta caracterización de la calidad del aire de la Región de Murcia. Este hecho pone de manifiesto que, aunque a la zona del Valle de Escombreras solo le corresponde por ley una estación de medida (en función del número de habitantes) es preciso considerar otros factores como la presencia de un importante tejido industrial en la zona. Puede concluirse, por tanto, que, en ocasiones, el número de estaciones de vigilancia especificadas en la legislación puede ser insuficiente para caracterizar completamente la calidad del aire de una zona.

Así mismo, el ACP ha revelado que, a excepción del NO y NO_2 , que comparten las mismas fuentes de emisión, la procedencia de cada uno del resto de contaminantes es diversa, de modo que no existen agrupaciones de los mismos en base a esto. Así pues, puede concluirse que, aparte de ser obligatoria, es necesaria la medida de todos y cada uno de los contaminantes que en la actualidad se miden en la Región para poder caracterizar con precisión su calidad del aire.

Cabe destacar que sería muy interesante la realización de un nuevo estudio en donde se evalúen las posibles redundancias en las estaciones en función de la época del año, de modo que se tomen en consideración parámetros meteorológicos que podrían influir en los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- [1] Gratani L, Crescente MF, Varone L. "Long-term monitoring of metal pollution by urban trees". *Atmos. Environ.* 2008. Vol.42-35 p.8273-8277. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.032>
- [2] Juda-Rezler K, Reizer M., Oudinet JP. "Determination and analysis of PM10 source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006". *Atmos. Environ.* 2011. Vol.45-36 p.6557-6566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.020>
- [3] Slezakova K., Pires JCM, Castro D. et al. "PAH air pollution at a Portuguese urban area: Carcinogenic risks and sources identification". *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2013. Vol.20-6 p.3932-3945. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1300-7>
- [4] Vellingiri K., Kim KH, Jeon JY, et al. "Changes in NO_x and O_3 concentrations over a decade at a central urban area of Seoul, Korea". *Atmos. Environ.* 2015. Vol.112 p.116-125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.032>
- [5] Fang GC, Chiang HC, Hsu CY, et al. "Characteristics of Concentrations and Metal Compositions for $PM_{2.5}$ and $PM_{2.5-10}$ in Yunlin County, Taiwan during Air Quality Deterioration". *Aerosol Air Qual. Res.* 2015. Vol.15-7 p.2571-2583. DOI: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0261>
- [6] Pires JCM, Sousa SIV, Pereira MC, et al. "Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis- Part I: SO_2 and PM_{10} ". *Atmos. Environ.* 2008. Vol.42-5 p.1249-1260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.044>
- [7] Pires JCM, Sousa SIV, Pereira MC, et al. "Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis- Part II: CO , NO_2 and O_3 ". *Atmos. Environ.* 2008. Vol.42-5 p.1261-1274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.041>
- [8] Pires JCM, Pereira MC, Alvim-Ferraz MCM, et al. "Identification of redundant air quality measurements through the use of principal component analysis". *Atmos. Environ.* 2009. Vol.43-25 p.3837-3842. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.05.013>
- [9] Lu WZ, Di He H, Yun Dong L. "Performance assessment of air quality monitoring networks using principal component analysis and cluster analysis". *Build. Environ.* 2011. Vol.46-3 p.577-583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.004>
- [10] Zhao L, Xie Y, Wang J, et al. "A performance assessment and adjustment program for air quality monitoring networks in Shanghai". *Atmos. Environ.* 2015. Vol.122 p.382-392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.069>
- [11] Wang C, Zhao L, Sun W, et al. "Identifying redundant monitoring stations in an air quality monitoring network". *Atmos. Environ.* 2018. Vol.190 p.256-268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.07.040>
- [12] Caggiano R, Di Leo S, D'Emilio M, et al. "Statistical tools for data optimization in air quality monitoring networks". *Fresenius Environ. Bull.* 2007. Vol.16 p.364-371.
- [13] Ibarra-Berastegi G, Sáenz J, Ezcurra A, et al. "Assessing spatial variability of SO_2 field as detected by an air quality network using Self-Organizing Maps, cluster, and Principal Component Analysis". *Atmos. Environ.* 2009. Vol.43 p.3829-3836. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.05.010>
- [14] Dominick D, Juahir H, Latif MT, et al. "Spatial assessment of air quality patterns in Malaysia using multivariate analysis". *Atmos. Environ.* 2012. Vol.60 p.172-181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.021>
- [15] Gómez-Losada A, Lozano-García A, Pino-Mejías R, et al. "Finite mixture models to characterize and refine air quality monitoring networks". *Sci. Total Environ.* 2014. Vol.485-486 p.292-299. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.091>
- [16] CARM. La calidad del aire en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Informe anual 2014. Disponible en Web: <https://singlair.carm.es/calidadaire/documentos/documentacion/Informeannual_2014.pdf>
- [17] R Core Team, "R: A Language and Environment for Statistical Computing." Vienna, Austria, 2014. Disponible en Web: <<http://www.R-project.org/>>
- [18] I. T. Jolliffe, Principal component analysis. 2ª edición. Springer Series in Statistics. Nueva York: Springer, 1986. 271p. ISBN: 978-1-4757-1906-2.
- [19] R. B. Cattell. "The Scree Test For The Number Of Factors". *Multivariate Behav. Res.* 1966. Vol.1-2 p.245-276. DOI: https://doi.org/10.1207/s15327906mbr0102_10
- [20] S. D. Wilks. Statistical Methods In The Atmospheric Sciences. 3ª edición. International Geophysics Series. Vol.59. Burlington: Elsevier Academic Press, 2006. 704p. ISBN: 978-0-1238-5022-5

MATERIAL SUPLEMENTARIO

https://www.revistadyna-com/documentos/pdfs/_adic/9250-1

